

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра виробництва приладів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерний-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Булику Михайлу Олеговичу

1. Тема дисертації «Контрольно-вимірювальна система для випробувань твердості компонентів медичних приладів», науковий керівник дисертації Ключко Тетяна Реджинальдівна, к.т.н., ст.н.с., доцент, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: мікротвердість матеріалів деталей медичних приладів і систем.
4. Вихідні дані: значення мікротвердості матеріалів деталей.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: обґрунтувати метод експрес-контролю мікротвердості; провести аналіз існуючих методів і засобів контролю мікротвердості та обрати напрямок досліджень; створити аналітичні моделі дії приладу вимірювання; провести аналіз надійності роботи приладу; створити алгоритми дії приладу; розробити макет інтегрованого приладу для контролю деталей медичних приладів; провести експериментальні дослідження роботи створеного приладу.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки проведених досліджень металевих заготовок, характеристика потужності тиску індентора залежно від величини його переміщення.
7. Орієнтовний перелік публікацій: статей, патентів на корисну модель, авторських свідоцтв, тез на міжнародних та вітчизняних конференціях.

8. Консультанти розділів дисертації*

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
| 1 | Огляд та аналіз об'єктів інтелектуальної власності і існуючих приладів для контролю твердості. | 02.09.19 – 16.09.19 | |
| 2 | Вибір напрямку наукових досліджень. | 16.09.19 – 20.09.19 | |
| 3 | Розробка методу вимірювання мікротвердості. | 23.09.19 – 05.10.19 | |
| 4 | Створити аналітичні моделі дії приладу | 23.09.19 – 05.10.19 | |
| 5 | Провести аналіз надійності роботи приладу | 06.10.19 - 07.10.19 | |
| 6 | Створити алгоритми дії приладу | 07.10.19 – 05.11.19 | |
| 7 | Створення макету мікротвердоміра “М-20”. | 07.10.19 – 05.11.19 | |
| 8 | Проведення дослідів за допомогою розробленого мікротвердоміра “М-20”. | 06.11.19 – 09.11.19 | |
| 9 | Аналіз отриманих даних. | 12.11.19 – 16.11.19 | |
| 10 | Розробка стартап-проекту: «Контрольно вимірювальна система для випробувань твердості компонентів медичних приладів». | 18.11.19 – 02.12.19 | |
| 11 | Оформлення матеріалів магістерської дисертації. | 03.12.19 – 09.12.19 | |
| | Підготовка презентації роботи | | |

Студент
Науковий керівник дисертації

М. О. Булик
Т. Р. Ключко

ЗМІСТ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ | 6 |
| Розділ I АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ | 12 |
| 1.1 Застосування металів та їх сплавів в медичних приладах | 12 |
| 1.1.1 Вироби медичного призначення | 12 |
| 1.1.2 Матеріали для медичних виробів та вимоги до них | 12 |
| 1.1.3 Відомості про властивості матеріалів | 13 |
| 1.2 Огляд та аналіз об'єктів інтелектуальної власності | 16 |
| 1.2.1 Методи визначення статичної та ударної мікротвердості металів | 16 |
| 1.2.2 Спосіб оцінки мікротвердості | 16 |
| 1.2.3 Пристрій для контролю мікротвердості | 17 |
| 1.3 Огляд приладів для дослідження мікротвердості | 17 |
| 1.3.1 Мікротвердоміри HNV-G20, HNV-G21 | 17 |
| 1.3.2 Мікротвердомір ПМТ-3 | 19 |
| 1.3.3 Квазістатичний екстензометр | 20 |
| 1.3 Вибір напрямку наукового дослідження | 21 |
| 2.1 Вплив швидкості руху індентора на якість вимірювання мікротвердості матеріалу | 23 |
| 2.1.1 Різновиди методик вимірювання твердості залежно від швидкості руху індентора | 23 |
| 2.2 Алгоритми контролю роботи автоматичного мікротвердоміра | 44 |
| 2.2.1 Алгоритм реєстрації “поверхні” | 51 |
| 2.2.2 Алгоритм тиску індентора на деталь | 54 |
| 2.2.3 Ланцюговий алгоритм визначення руху АМТ | 57 |
| 2.2.4 Розрахунок надійності функціонування приладу | 60 |
| 2.3 Аналіз необхідності резервування окремих елементів засобу | 60 |
| 2.3.2 Засоби та методи резервування | 61 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.3 Опис методики розв’язання задачі надійності роботи обраного технічного засобу. | 62 |
| 2.3.4 Виконання розрахунків основних показників надійності, виходячи з особливостей схеми засобу. | 63 |
| 2.3.5 Опис методів підвищення надійності | 68 |
| Висновок до розділу II | 69 |
| Розділ III ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПРИЛАДУ МІКРОТВЕРДОМІРА М-20 | 70 |
| 3.1 Конструктивні особливості моделі приладу | 70 |
| 3.2 Експериментальні дослідження роботи приладу | 75 |
| 3.2.1 Опис калібрувального стенду для налаштування приладу | 75 |
| 3.2.2 Методика вимірювання параметрів мікротвердості матеріалу | 78 |
| 3.2.3 Результати експериментальних досліджень | 81 |
| 3.3 Перевірка адекватності теоретичних моделей | 82 |
| РОЗДІЛ IV РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ | 87 |
| 4.1. Опис ідеї проекту | 87 |
| 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту | 92 |
| 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту | 93 |
| 4.4. Аналіз пропозицій ринку | 96 |
| 4.5. Фактори конкурентоспроможності | 97 |
| 4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту | 98 |
| 4.7 SWOT-аналіз стартап-проекту | 98 |
| 4.8. Альтернативи ринкової поведінки | 99 |
| 4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту | 99 |
| 4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту | 103 |
| Висновок до розділу IV | 109 |
| Висновки | 110 |
| Список використаної літератури | 111 |
| Додатки | |

Реферат

Магістерська дисертація має аналітичну та дослідну частини. В даній роботі було розглянуто і розроблено технічну документацію та створено дослідну модель автоматизованого приладу вимірювання твердості деталей, який має назву “Мікротвердомір М20-2”. Призначення автоматизованого приладу є вимірювання твердості деталей медичних приладів та систем із різних матеріалів. Та проведено лабораторні дослідження.

Ключові слова: метод, мікротвердість, вимірювання, матеріал, медичні деталі, медичні прилади, індентор, електричні плати, інтегрована система, автоматичний прилад, оптична головка.

Розглянуто:

- Деталі медичних приладів їх властивості та зносостійкість при навантаженнях;
- проведено патентний пошук;
- основні технічні характеристики інтегрованої системи, що застосовується при вимірюванні та контролі мікротвердості медичних компонентів;
- проведено порівняння характеристик аналогів.
- створено робочу модель приладу;
- проведено дослідження в лабораторних умовах;
- розроблено алгоритми руху при здійсненні дослідження;
- розроблено оптичну головку для додаткового контролю якості матеріалів.

Проведено розрахунки :

- технологічності виробу, оцінено відносний показник технологічності;
- надійності окремих компонентів плати;
- розрахунки при проведенні досліджень.

Склад роботи: 100 сторінок пояснювальної записки, 55 рисунків, 8 таблиць, 9 алгоритмів, 5 таблиць з даними.

Додаток А: технологічні пропозиції щодо виготовлення інтегрованої головки. Додаток Б: перелік авторських праць. Додаток В: пакти впровадження результатів роботи. Додаток Г: презентація.

Summery

The master's dissertation has analytical and research parts. In this work, the technical documentation was considered and developed and a pilot model of an automated instrument for measuring the hardness of parts, called "Microhardness meter M20-2", was created. The purpose of an automated device is to measure the hardness of parts of medical devices and systems made of different materials. Yes, laboratory tests were carried out.

Key words: method, microhardness, measurements, material, medical details, medical devices, indenter, electrical boards, integrated system, automatic device, optical head..

Considered:

- Details of medical devices their properties and durability at loads;
- patent search was conducted;
- the main technical characteristics of the integrated system, which is recorded in the measurement and control of microhardness of medical components;
- a comparison of the characteristics of analogues.
- working model of the device is created;
- conducted research in laboratory conditions;
- Algorithms of motion during research are developed;
- Optical head designed for additional quality control of materials.

Calculations made:

- manufacturability of the product, the relative index of manufacturability is estimated;
- reliability of individual components of the card;
- research calculations.

Composition: 100 pages of explanatory note, 55 figures, 8 tables, 9 algorithms, 5 data tables.

Appendix A: technological proposals for the manufacture of an integrated head. Appendix B: List of works of authorship. Appendix C: Performance Pacts. Appendix D: Presentation.

Вступ

Актуальність теми

Сучасні технології стрімко розвиваються і не стоять на місці. Особливо стрімко розвивається сфера медичних приладів і систем. За допомогою сучасних медичних приладів і систем (діагностичних медичних приладів, лабораторних медичних приладів і інших) кількість врятованих життів зростає. Адже за допомогою якісного медичного обладнання можна правильно поставити діагноз чи виявити на ранній стадії будь-яке утворення чи патологію.

Але все це б не було можливим без якісних сплавів та матеріалів, з яких складаються дані прилади. Важливим показником надійності і роботоздатності медичного приладу є компоненти окремих вузлів, які піддаються як і хімічним так і фізичним впливам. Найчастіше ці компонентами є металеві сплави, які здатні показати хорошу міцність та зносостійкість.

Однією із основних проблем сучасних медичних приладів це зносостійкість і якість їх компонентів. Однією із таких характеристик якості є мікротвердість. Адже важливо отримати металевий компонент приладу, після обробки, з правильними механічними і фізичними властивостями, які можуть інколи змінюватись. А основним із впливів на властивості матеріалу є їх неправильна обробка на виробництві. Щоб уникнути браку, необхідно здійснювати контроль їхньої якості.

В даній роботі саме представлено такий прилад, за допомогою якого можливий контроль параметрів якості металевих компонентів, медичних приладів, а саме мікротвердості. Дана система є унікальною. Адже може здійснювати вимірювання безпосередньо на оброблювальних верстатах із CNC системою. Слід зазначити що дана система є інтегрованою системою. Та може приєднувати до себе додаткові модулі контролю якості матеріалу. Одним із таких є оптична головка вимірювання шорсткості поверхні. За допомогою даної інтегрованої системи можливо швидко і точно оцінити якість матеріалу.

Таким чином, можна сказати, що дана система, її конструкції та особливості у використанні роблять її надійним засобом для контролю мікротвердості. Що може скласти конкуренцію сучасним системам контролю.

Зв'язок роботи з науковими програмами

1. Робота за темою дисертації виконувалась у відповідності до календарного плану з науково – дослідною роботи за календарним планом,

- НДР ДР 0117U004263 № 2026п «Прилад вимірювання мікротвердості та шорсткості поверхні деталі в автоматичному режимі на верстатах з ЧПК»
- НДР «Створення фундаментальних принципів комп'ютерно-інтегрованої діагностики стану біотехнічних об'єктів», ДР 0116U006058 – в якості прикладів створення принципів систем діагностики.

Мета наукового дослідження

Метою наукового дослідження є створення методу вимірювання мікротвердості матеріалів медичних приладів та систем.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес отримання параметрів мікротвердості за допомогою відбитка індентора на поверхні металевих зразків при виготовленні деталей у приладобудівному виробництві.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є створена система експрес-контролю мікротвердості матеріалів деталей, які входять до медичних приладів та систем.

Постановка задачі дослідження та напрямки його вдосконалення

Для вирішення поставленої задачі було розроблено новий метод дослідження мікротвердості безпосередньо в складі обробного обладнання або на вертаті, або у лабораторних умов.

Основним завданням дослідження у магістерській дисертації є створення принципу експрес-контролю мікротвердості, що призводить до підвищення швидкодії та достовірності визначення показників точності виготовлення деталей медичних приладів, експериментальне дослідження вимірювання мікротвердості за допомогою розробленого мікротвердоміра М-20.

Тому вирішення задачі дослідження визначає наступні напрями вдосконалення:

1. Обґрунтувати новий метод вимірювання мікротвердості на підставі аналізу методів та засобів, застосованих в реальному виробництві
2. Вдосконалення методу вимірювання мікротвердості, спираючись на вже існуючі методи, проте з можливістю роботи в автономних умовах.
3. Створення макету приладу мікротвердомір М-20 для роботи і в умовах автоматизованого виробництва, і в лабораторних умовах.
4. Визначення впливу конструктивних особливостей мікротвердоміра на показники досліджень.
5. Розробити алгоритми дії мікротвердоміра.
6. На підставі експериментальних досліджень провести перевірку якості та достовірності даних..

Завдання дослідження

Наукові завдання є наступні.

1. Огляд та аналіз об'єктів інтелектуальної власності і існуючих приладів для контролю твердості.
2. Вибір напрямку наукових досліджень.
3. Обґрунтування методу вимірювання мікротвердості.
4. Розробка алгоритмів дії контрольно-вимірювальної системи.
5. Створення макету мікротвердоміра "М-20".
6. Проведення дослідів за допомогою розробленого мікротвердоміра "М-20".

7. Аналіз отриманих даних та узагальнення результатів.
8. Розробка стартап-проекту: «Контрольно вимірювальна система для випробувань твердості компонентів медичних приладів».

Наукова новизна одержаних результатів

- Створено новий метод експрес-вимірювання мікротвердості, який дозволяє покращити точність вимірювання та зменшити кількість технологічних процесів на виробництві
- Розроблено новий прилад вимірювання мікротвердості для застосування в складі системи контролю та вимірювання.
- Проведено дослідження мікротвердості за допомогою нового приладу.

Особистий внесок здобувача

Наукові положення та результати, що увійшли до дисертації, отримані автором особисто.

Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати досліджень та розробок доповідались на міжнародних конференціях «Приладобудування: стан та перспективи» (Київ, 2018р.) та у Всеукраїнській конференції «Погляд у майбутнє приладобудування» (Київ 2018 р.).

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ

1. >Volodymyr Skytsiouk<, >Tatiana Klotchko<, >Myhailo Bulyk<, Specifics of influence of the chemical composition of abstract object's presence zone on accuracy of determination of surface's coordinates, Вісник КПІ. Серія Приладобудування, Вип. 57(1), С. 62-71, 2019
2. >В.І. Скицюк<, >Булик М.О.<, Печонка М.М., >Т.Р. Ключко<, >Тимчик Г.С.< , Моделювання керованого руху індентора при вимірюванні твердості

- матеріалу деталі, Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. 2018.- Вип.55(1), С. 81- 88.
3. Патент № 128709 України на корисну модель. Спосіб вимірювання мікротвердості деталі. >В.І. Скицюк<, >Т.Р. Клочко<., >Булик М.О.<., Печонка М.М., Заявка № U201801193. 10.10.2018. Бюл. № 19
 4. Патент № 133379 України на корисну модель. Мікротвердомір. >В.І. Скицюк<, >Т.Р. Клочко<., Печонка М.М., >Булик М.О.<. Заявка № U2018 06635. Пріоритет 13.06.2018.Опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7
 5. Свідоцтво авторського права на твір № 78124. Метод вимірювання мікротвердості деталі. >В.І. Скицюк<, >Т.Р. Клочко<., >Булик М.О.<, Печонка М.М., опубл. 06.04.2018
 6. В.І. Скицюк, Булик М.О., Печонка М.М., Т.Р. Клочко, Автоматизований модуль контролю твердості матеріалу штучних імплантів, Збірн. статей. XI науково-практ. конфер. студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, С. 329-332.
 7. Volodymyr Skytsiouk, Tatiana Klotchko, Myhailo Bulyk, Determination of the microhardness parameter of metal parts of medical products, Proc. of XVIII Intern. scientific and technical conference INSTRUMENT MAKING: state and prospect, 15-16 May 2019, Kyiv, IMF of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, pp. 139-140, 2019
 8. Булик М. (студент), Скицюк В., Клочко Т. Методика вимірювання мікротвердості матеріалу деталі за допомогою мікротвердоміра М-20, XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні, 10-11 грудня 2019 р. м. Київ
 9. Скицюк В.И., Клочко Т.Р., Булык М.А., Устройство измерения микротвердости материалов деталей медицинского прибора, Приборостроение - 2019: Материалы 12 - й Международной научно-технической конференции, 13–15 ноября 2019 г., Минск, Республика Беларусь

Розділ І

АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1 Застосування металів та їх сплавів в медичних приладах

1.1.1 Вироби медичного призначення

Прилади, системи, вузли, деталі, приладдя, матеріали, що сприяють прискоренню лікування, підтриманні життєздатності біологічного об'єкта, прискоренню відновлення окремих біологічних частин організму, або всього організму загалом, виявленню патологій, та встановлення діагнозу. Можуть застосовуватись як окремо так і в поєднанні між собою.

До категорії приладів медичного призначення можна віднести прилади діагностичного призначення: ультразвукові діагностичні апарати, рентгендіагностичні апарати, магнітно-резонансні апарати, електрокардіографи, та інші. Апарати для підтримки життєдіяльності організму: апарати штучної вентиляції легенів, апарати для гемодіалізу, апарати для підтримки кровообігу в організмі, та інші. Прилади лабораторного призначення для проведення лабораторних досліджень з біологічними матеріалами. Та ще багато різних приладів, які застосовуються в медицині.



Рисунок 1.1 - Медичні прилади і системи

1.1.2 Матеріали для медичних виробів та вимоги до них [1].

На сьогоднішній день велика кількість матеріалів використовується для створення медичного обладнання, це такі матеріали як:

- метали та їх сплави;
- гуму;
- скло;
- деревину;
- пластичні маси;
- кераміку та ін.

Звичайно, що матеріали, що використовуються в даній галузі мають мати певні стандарти та до них ставляться певні вимоги:

- вони мають бути не шкідливими та не токсичними (біологічно інертними);
- бути стійкими до стерилізації та дезінфекції;
- мають бути корозійностійкими.
- мати високу зносостійкість;
- бути високотехнологічними (наприклад, при литті, штампуванні та інших видах обробки);

Щоб вибрати матеріал для виготовлення того чи іншого приладдя, завжди потрібно враховувати їхні властивості.

1.1.3 Відомості про властивості матеріалів

Сучасні методи досліджень можуть дати максимально повне уявлення про природні властивості матеріалу чи структуру речовини, її склад та будову, взаємодію із другими матеріалами і біологічними середовищами [35].

Слід враховувати те, що привзаємодій з різними середовищами, а також з біологічними об'єктами, матеріали можуть змінювати свої властивості [36].

Є такі основні властивості матеріалів:

- механічні;
- хімічні;

- фізичні;
- технологічні;
- біологічні.

Важливу роль відіграють механічні властивості матеріалів, під їх властивостями розуміють їх здатність до чинення протидії різним зовнішнім чинникам. Механічні властивості матеріалів можна вивчити за допомогою спеціально призначених приладів і систем. Методи випробувань поділяються на статичні та динамічні.

Статичні випробування матеріалів полягають в тому, що на матеріал діють повільно але постійно зовнішніми силами. При динамічних – сила прикладається швидко та короткочасно і має характер удару.

Механічні властивості поділяються на:

- твердість;
- пружність;
- міцність;
- в'язкість;
- пластичність;
- втомленість.

Твердість — це здатність матеріалів чинити опір на чужорідне тіло, яке вводиться в нього під дією сили.

Твердість матеріалів визначається за допомогою таких методів:

— Метод Брінелля: за допомогою преса в поверхню тіла, яке досліджується із певною силою вдавлюють сталеву кульку певного діаметра (Рис.1.2). Цей метод використовується для матеріалів з малою твердістю;

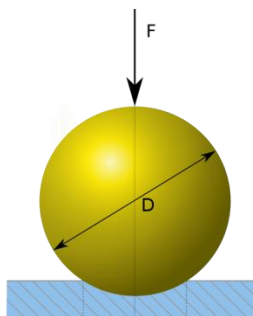


Рисунок 1.2 - Вимірювання твердості за Брінеллем

— Метод Роквелла: вдавлювання діамантового конуса в заготовку (Рис.1.2). Цей метод підходить визначення використовують для матеріалів із високою твердістю;

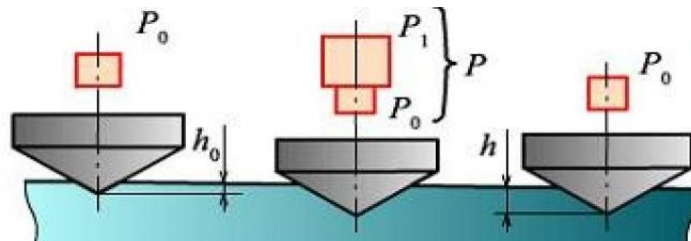


Рисунок 1.3 - Вимірювання твердості за Роквеллом

— Метод Віккерса: в матеріал вдавлюють усічену чотиригранну діамантову піраміду (Рис.1.3). Цим методом здійснюють визначення твердості виробів невеликої товщини.

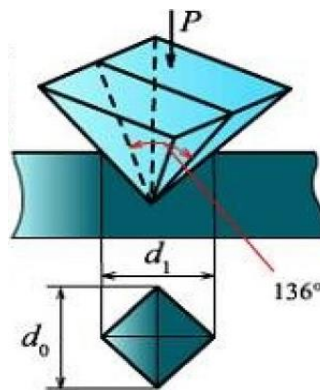


Рисунок 1.3 - Вимірювання твердості за Віккерсом

Як ми вже зазначили, в даній роботі ми зосереджуємо нашу увагу на механічних властивостях матеріалу, а саме: твердості. В подальшому будуть проводитись дослідження та аналізування методів та способів отримання хороших результатів твердості для оцінки стану матеріалу.

1.2 Огляд та аналіз об'єктів інтелектуальної власності.

1.2.1 Методи визначення статичної та ударної мікротвердості металів та їх сплавів, удк 620.178.153.2 [6].

Розроблено методику визначення статичної та ударної мікротвердості металів і їх сплавів за допомогою інденторів (Рис.1.4) певних конструкцій, які виконано у вигляді чотиригранної піраміди із кутами між гранями $0 \alpha = 90$ та тригранної піраміди із кутами в вершині $0 \alpha = 105$, що забезпечують у процесі випробувань перехід від пружних деформацій до пластичних за менших значень наклепу. Значення статичної та ударної мікротвердості металів та сплавів, отримані в дослідженнях за запропонованими методами, є більш точними у порівнянні із існуючими стандартними за Кнупу і Віккерсу. Новизна методу є підтверджена патентами України.

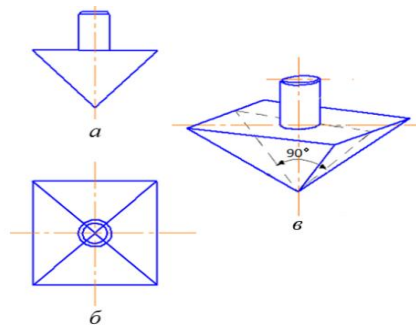


Рисунок 1.4 - Нова конструкція індентора:

а і б – відповідно фронтальна та горизонтальна проекції; в – загальний вигляд

1.2.2 Спосіб оцінки мікротвердості, u 2013 10324 [7].

Оцінка мікротвердості, що полягає в визначенні з мікротвердості а поверхні матеріалу за допомогою відновленого відбитка під різними навантаженнями індентора. Використано кремнієвий зонд конічної форми, що відрізняється додатковим кремнієвим зондом, який модифікується тонким вуглецевим покриттям, наноіндентування поверхні виконують коли постійно зростаюче навантаження, фіксують криву "підведення-відведення" та за допомогою цієї кривої корегують глибину проникнення зонда у зразок, визначають площу

контакту між зондом та поверхнею досліджуваного матеріалу, та за отриманими параметрами оцінюють мікротвердість (Рис.1.5).

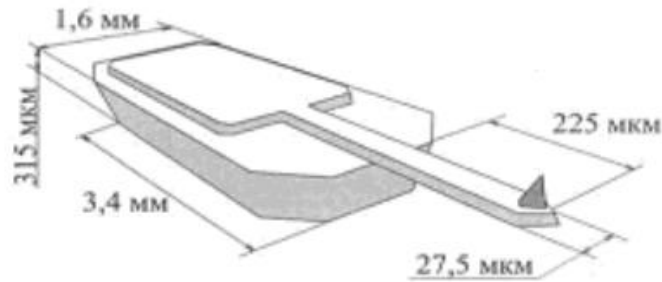


Рисунок 1.5 - Кремнієвий зонд

1.2.3 Пристрій для контролю мікротвердості і товщини зміцненого шару металу, u201107906 [8].

Пристрій для контролю мікротвердості і товщини віброзміцненого шару металу, що містить перетворювач, який має ферозонд, блок обробки вихідного сигналу і електричні лінії зв'язку, що відрізняється ферозондом, який споряджено додатковою обмоткою (Рис. 1.6).

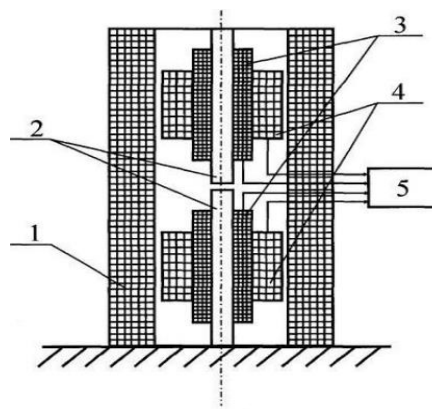


Рисунок 1.6 - Пристрій для контролю мікротвердості: 1-катушка намагнічування; 2-осердя; 3-обмодка ферозонда; 4-додаткові обмотки; 5-блок обробки вихідного сигналу

1.3 Огляд приладів для дослідження мікротвердості.

1.3.1 Мікротвердоміри НМV-G20, НМV-G21[3].

Мікротвердомір НМV-G21(Рис.1.7) призначений для вимірювання твердості матеріалів за шкалою Вікерса відповідно до ГОСТ Р ІСО 6507-1-2007.



Рисунок1.7 - Мікротвердомір НМV-G21

Опис методу вимірювання

Принцип дії мікротвердоміра полягає в статичному вдавлюванні наконечника, куди входить алмазна піраміда Вікерса, після чого відбувається вимірювання відпечатку та перерахунок довжин діагоналей у твердість.

Даний мікротвердомір являє собою стаціонарний пристрій вимірювання, що складається із засобу надавання нагрузки та вимірювального блоку.

Мікротвердомір може складатися із одного індентора та двох об'єктивів, чи із двох інденторів та чотирьох об'єктивів, та з автоматичною туреллю.

Мікротвердомір підключений до персонального комп'ютер що робить обрахунки та видає кінцеве значення.

Метрологічні та технічні характеристики

Межі відносної похибки навантаження для навантажень - 1,96 Н;

2,94 Н; 4,90 Н; 9,81 Н; 19,6 Н,% - $\pm 1,0$;

Діапазон вимірювань твердості за шкалами Віккерса (HV),

HV 1; HV 2 - від 50 до 1500;

Межі відносної похибки навантаження

для навантажень 0,098 Н; 0,245 Н; 0,490 Н; 0,981 Н,% - $\pm 1,5$;

Діапазон вимірювань твердості за шкалами Віккерса (HV),

HV 0025; HV 0,05 - від 50 до 450;

Діапазон вимірювань твердості за шкалою Віккерса (HV),

HV 0,01- від 50 до 250;

Діапазон вимірювань твердості за шкалами Віккерса (HV),

HV 0,2; HV 0,3; HV 0,5 - від 50 до 1250;

Діапазон вимірювань твердості за шкалою Віккерса (HV),

HV 0,1 - від 50 до 850;

Робочі умови застосування:

Температура навколишнього середовища повітря,

оС - від 5 до 35;

Відносна вологість середовища, не більше, % - 60;

Напруга живлення змінним струмом частотою 50/60 Гц, 110 ± 10 В/ 220 ± 22 В

1.3.2 Мікротвердомір ПМТ-3

Вимірювання здійснюється за допомогою Мікротвердомір ПМТ-3[4] (Рис.1.7), що призначений для вимірювання мікротвердості матеріалів, сплавів, скла, кераміки та мінералів. Метод полягає в тому, що відбувається вдавнення у матеріал алмазного наконечника Віккерса із основою чотиригранної піраміди, яка забезпечує геометричне та механічну подібність відбитків в міру поглиблення індентора під дією навантаження навантаження.

Технічні характеристики Мікротвердоміри ПМТ-3:

Діапазон навантаження 0,0196 ... 4,9 Н.

Управління навантаженнями - ручне.

Збільшення мікроскопа Мікротвердоміри 130, 500, 800.

Габаритні розміри, не більше 270 x 290 x 470 мм.

Маса, не більше 22 кг.



Рисунок 1.7 - Мікротвердомір ПМТ-3

1.3.3 Квазістатичний екстензометр

Метод, у якому вимірювалась твердість та еластичність матеріалу (Рис.1.8), в якому застосовувалось лінійне переміщення в горизонтальній площині [5]. Використовувався квазістатичний екстензометр, що був розроблений Дж. Евансом у 1967 році. Цей пристрій застосовував шкалу розширення матеріалу за допомогою двохсторонньої клейкої площини на двох металевих вкладишах. Отримане навантаження передавалось ланцюгом, що складався із двох безколієних шківових коліс у кінці кінцевих плечей. Використовували двигун з постійним моментом для швидкого руху.

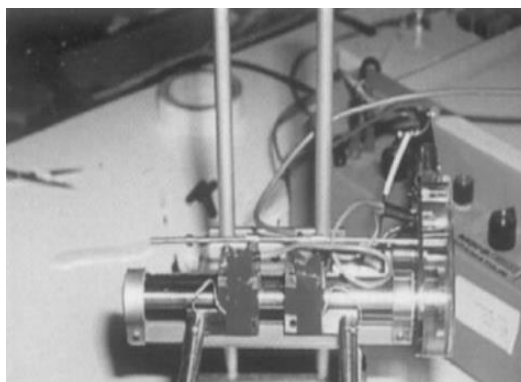


Рисунок 1.8 - Квазістатичний екстензометр

Недоліками цих методів вимірювання є недостатня точність і достовірність отриманих результатів, яка вносить похибки в результат діагностики стану об'єкту. Що в свою чергу негативно впливає на надійність вузлів системи медичних приладів.

Опираючись на сучасну методику вимірювання мікротвердості і системи для здійснення контролю, розроблено новий метод контролю мікротвердості, створено робочу модель приладу для проведення досліджень і представлено його у даній роботі.

1.3 Вибір напрямку наукового дослідження

Вибір напрямку наукових досліджень, які стосуються вимірювання мікротвердості, для якісної оцінки матеріалів полягають насамперед в розробці нового методу та новому підході до вимірювання механічних властивостей матеріалів. Розглянувши існуючі прилади та методи контролю мікротвердості, та ознайомившись з їхніми особливостями та конструкціями, прийнято рішення, розробити, опираючись на дані методи вимірювань, новий метод і конструкцію приладу для вимірювання мікротвердості матеріалів. Особливістю методу має бути швидка і точна калібровка перед початком роботи, простота у використанні, менша кількість технологічних процесів при проведенні дослідження мікротвердості. Тому слід зазначити, що напрямок наукових досліджень буде полягати в створенні нової конструкції приладу, та створенні методу і алгоритмів для даної моделі, щоб отримати в кінцевому результаті якісні і максимально точні результати вимірювань. Враховуючи всі переваги та недоліки існуючих систем, вирішено механізувати нову модель приладу, для того, щоб здійснювати вимірювання у всіх площинах об'єкту та в місцях, не зручних для здійснення вимірювання. Також дана модель матиме змогу кріпитись безпосередньо на оброблювальні машини, що зменшить кількість технологічних процесів, які виконуються для подальшого контролю деталей після їх обробки. Це дасть велику перевагу виробництву. Таким чином, визначившись з основними аспектами

вимірювання мікротвердості можна перейти до створення нової моделі мікротвердоміра та проведенні досліджень за допомогою нового методу.

Висновки до розділу I

Отже, в даному розділі було представлено огляд існуючих моделей та методів для вимірювання мікротвердості металів. Було описано сферу застосування розробленого приладу, а саме: контроль мікротвердості деталей для медичних приладів і системи. Обрано та обґрунтовано напрямок наукових досліджень. Буде розроблено метод вимірювань мікротвердості, та прилад для контролю мікротвердості та проведено дослідження за розробленим методом.

РОЗДІЛ II

АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ

2.1 Вплив швидкості руху індентора на якість вимірювання мікротвердості матеріалу

Швидкість руху індентора має велике значення, адже вона впливає на якість та ефективність вимірювання. В розділі нижче описано методики вимірювання твердості залежності від швидкості та проведено моделювання та математична модель руху індентора.

2.1.1 Різновиди методик вимірювання твердості залежно від швидкості руху індентора

Вимірювання твердості можна проводити з різними швидкостями, які емпірично визначаються залежно від очікуваної твердості досліджуваного матеріалу. При фізико-механічних випробуваннях матеріалів існує досить умовний розподіл на статичні та динамічні методи визначення твердості як фізичного явища. До статичних відносяться методи, де навантаження на індентор піднімається поступово. Динамічними називають методи, де індентор виконує низку ударів по поверхні. Цілком ясно, що рух індентора існує у двох випадках, тільки у першому він має досить повільний характер у порівнянні з другим. Наразі різниця може сягати кількох порядків. Отже, розглянемо спочатку статичні методи.

Найбільш вживана методика визначення твердості - це її визначення за Бринелем, який регламентовано ГОСТ 9012-59. Сутність методики полягає у втисканні кульки визначеного діаметру з відповідною силою. Величина твердості визначається як співвідношення сили до площі поверхні. Діаметр кульки та навантаження обирається у відповідності з характером, формою та розміром зразка. Діаметри відбитків повинні бути у межах $0,2D < d < 0,6D$. Якщо ця умова не виконується, вимір вважають недійсним. Окрім визначення діаметру відбитку, існує методика вимірювання глибини заглибини, але ці величини дещо відрізняються від виміру діаметра. Вважається, що це результат неврахування напливу металу та спучення окрайців відбитку. У зв'язку з чим вимір глибини використовують за серійного дослідження одного й того ж матеріалу. За цією методикою визначають верхнє та нижнє відхилення. За значних розмірів відбитків є можливість вимірювати твердість з великою точністю, тобто цю методику можливо використовувати при вивченні процесів пластичної деформації та процесів деформування, коли розміри пластичної частини співрозмірні з розмірами відбитку.

Наступний за важливістю - метод визначення твердості за Роквелом (ГОСТ 9013-59), який застосовують при дослідженні чорних та кольорових металів та їх топів. Використовується індентор стандартної форми (алмазний конус або сталева кулька). Індентор втискається у зразок за двоступневим навантаженням. Спочатку навантаження відбувається під попередньою силою, а потім під загальною, яка складається з попередньої та основної. Твердість за Роквелом визначають у відносних одиницях. За одиницю твердості приймають величину, яка відповідає зміщенню індентора за напрямком руху на 0,002мм, тобто на 2 мкм. Залишкову деформацію визначають після зняття основного навантаження. Число твердості визначається як результат різниці глибин, на які втискається індентор під послідовною дією послідовних навантажень з деякою сталою. Для алмазного конуса це число обирається як 100, а для сталєвої кульки – 130 (ГОСТ 8.064-79).

Ще один метод вимірювання твердості - за Вікерсом (ГОСТ 2999-75), відрізняється від методики Бринеля тим, що у поверхню втискається не кулька, а чотиригранна алмазна піраміда з растровим кутом при вершині у 136° . Незважаючи на те, що втискається правильна піраміда, вимірюються дві діагоналі відбитку. Твердість визначається як співвідношення сили тиску до квадрату середньої величини діагоналі. Водночас існує низка умов вимірювання. Відстань між центром відбитку та окrajцем зразку, або краєм сусіднього відбитку повинна бути не менше 2,5 довжини діагоналі. Мінімальна товщина зразка, або шару повинна бути у 1,2 рази для сталевих зразків, і у 1,5 разів для кольорових, а глибина повинна бути на рівні однієї сьомої діагоналі. Наразі методика Вікерса вважається найбільш довершеною, оскільки дозволяє вимірювати і дуже тверді, і м'які матеріали.

При використанні цих відомих методик вимірювання твердості, можна вважати їх інтегральним показником, який надає можливість оцінити загальну величину цього параметру. Тим не менш існують випадки, коли необхідно вимірювати мікротвердість на малих площах у важкодоступних місцях. Відповідно до цього існують методики вимірювання невеличких площ для визначення диференційної величини твердості. Стосовно методики визначення регламентовано ГОСТ 9450-76. Цей стандарт встановлює дві основні методики отримання мікротвердості. Згідно першої (основної) методики відновленого відбитку полягає у нанесенні на поверхню відбитку під дією статичної сили. Відбиток робиться пірамідами різної форми. Відповідно до цього визначають і мікротвердість у чотири способи. В основу формули визначення покладаються параметри площі відбитку. Визначення мікротвердості методом невідновлюваного відбитку полягає у нанесенні такого відбитку на поверхню деталі. За цією методикою визначається у чотири способи.

Як перехідний від статичних [14] до динамічних методів існує метод шкрябання. Це є польовий експрес-метод, який миттєво визначає твердість мінералу або гірської породи за шириною риски, яку залишає за собою індентор.

При цьому використовують алмазний штихель з кутом при вершині 90° або 120° . За шириною отриманої риски визначають твердість мінералу. Ширину риски оцінюють з точністю 0,001 мм. У цьому випадку твердість визначається за шкалою Мооса.

При динамічних випробуваннях індентор діє на зразок своєю кінетичною енергією. Ця енергія витрачається на деформацію зразка, відскок індентора, вібрації тощо. До того ж, якщо енергія падіння досить велика, на зразку залишається відбиток у вигляді заглибини.

Отже, існує два способи динамічного визначення твердості. Перший метод заснований на визначенні твердості за відбитком. Другий на вимірюванні висоти відскоку індентора. У наслідок великої кількості параметрів, на які впливають властивості матеріалу, виникло кілька методів, за якими можна визначити твердість матеріалу. Перша група методик заснована на визначенні твердості за допомогою вантажа, що падає на поверхню зразка. Водночас кулька втискається у масу деталі під дією сили удару. Твердість визначається як співвідношення енергії падіння до об'єму отримано лунки.

Наступна методика використовує удар. У цьому випадку твердість визначається за відбитком кульки на зразку. Удар проводиться молотком спеціальної конструкції (молотки Польді, Брінеля) або пружини. У першому випадку енергія змінна, а у другому постійна. Величину відбитку визначають у порівнянні відбитків досліджуваного зразка та еталонного, тобто як співвідношення діаметрів.

Інший метод, який відноситься до динамічних - це метод Шора. Вимір цим методом полягає у вимірюванні величини відскоку індентора, який вільно падає з визначеної висоти на поверхню зразка.

Існує ще один метод вимірювання твердості – вібро-акустичний. У цьому випадку визначення твердості відбувається через визначення спільної частоти коливань поверхні деталі та індентора. Визначення твердості відбувається за

спеціальними номограмами або приладів з спеціальною градацією шкали вимірювання.

Отже, цей скорочений огляд методик надає можливість визначитися з основними параметрами цих процесів, які надають можливість визначитися з таким поняттям як твердість матеріалу.

Якщо ми відкинемо всі вторинні ознаки при визначенні твердості матеріалу, то маємо можливість умовно поділити на два способи, тобто такі що залишають відбиток і такі, що його не залишають. Цей розподіл є досить умовний, тому що не існує процесів торкання, які б не руйнували фізичний простір об'єктів [ФТ]. Може йтися лише про відновлювані польові структури, та й то не повністю.

Отже, будь-яка методика визначає мікрооб'єм руйнування під дією відомої за величиною сили [13]. Робиться це за кількох способів, як від прямого руйнування, так і від посереднього. Подальше збільшення швидкості та зменшення ваги індентора призводить до відповідної зміни методики. У цьому випадку індентор за великої швидкості руху залишав відбиток. Знаючи швидкість руху індентора та його масу, визначалася кінетична енергія, яка разом із розмірами відбитку визначала твердість. При зменшенні маси індентора він підстрибував на якусь величину. Як наслідок за висотою підстрибування оцінювалася твердість. При цьому заглибина ставала практично непомітною.

Ще одна методика - це застосування вібрації. У цьому випадку індентор притискався до поверхні деталі і вводився у стан вібрації. Частота вібрації у такому варіанті визначала величину твердості.

У підсумку до всього вищесказаного маємо можливість константувати той факт, що визначення твердості спирається на відомості про геометрію наконечника індентора та його швидкість або тиск.

2.1.2 Математичне обґрунтування руху індентора

Твердість будь-якого матеріалу фізично пов'язана з такими поняттями, як пружність та пластичність [16]. Для цього розглянемо діаграму деформування матеріалу (Рис.2.1).

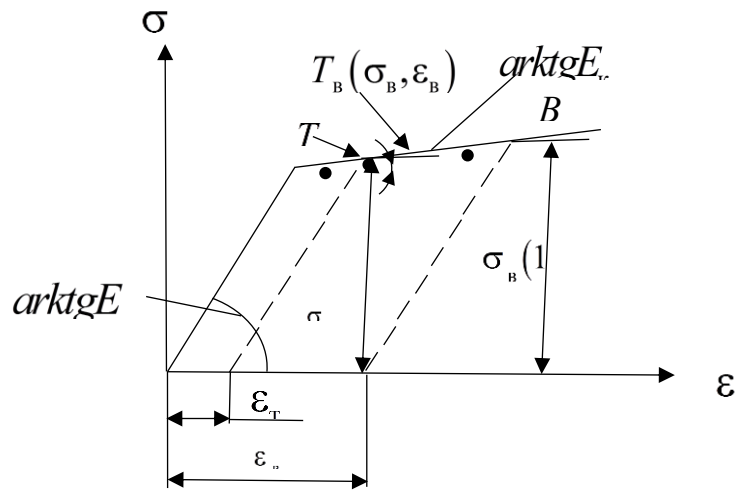


Рисунок 2.1 - Схематична крива деформації за характерними точками

На цій діаграмі вказані основні критичні точки, притаманні процесу деформації. Це є спрощена схематизація, сутність якої полягає у тому, що до $\sigma \leq \sigma_T$ вважається, що матеріал має пружні властивості. На ділянці $\sigma > \sigma_T$ відбувається лінійне зміцнення. У якості приблизного значення маємо можливість вважати, що

$$E_k = \sigma_B (1 + \varepsilon_B) \quad (2.1)$$

Отже, якщо відома пластична деформація ε_B , яка відповідає межі σ_B міцності, то маємо вважати, що лінія зміцнення проходить через три межові точки міцності та межі плинності, тоді

$$E_k = \frac{\sigma_B (1 + \varepsilon_B) - \sigma_T}{\varepsilon_B - \varepsilon_T}, \quad (2.2)$$

де ε_T - пластична деформація, яка відповідає точці T .

При визначенні твердості ми однозначно проходимо точку T (Рис.2.1) і однозначно знаходимось у зоні TB . Саме у цій зоні починаються незворотні деформації, які ми спостерігаємо у вигляді відбитків індентора. При визначенні

твердості індентор зупиняється у позиції $T_b(\sigma_b, \varepsilon_b)$, яка відповідає параметрам вимірювання. При цьому параметри σ_b та ε_b однозначно визначають величину тиску P_b , який заглиблює індентор на відповідну глибину. Тобто фактично ми маємо ситуацію в'язко-пружної деформації [..]. Для опису цих явищ класична механіка використовує модель в'язкої жорсткості, в якій дотичні напруги пропорційні швидкості деформації зсуву:

$$\tau_{xy} = \eta \frac{d}{dt}(\gamma_{xy}), \dots (x, y, z), \quad (2.3)$$

де η - коефіцієнт в'язкості.

Користуючись цією залежністю, маємо можливість розглянути суцільне середовище, якій властиві якості в'язкої рідини та пружності. На засадах цього підґрунття було запропоновано кілька моделей в'язко-пружності. Модель Максвела являє собою послідовне з'єднання елементу пружності та елемента в'язкості. Елемент в'язкості показано у вигляді поршня з щілиною в середині циліндра з в'язкою рідиною.

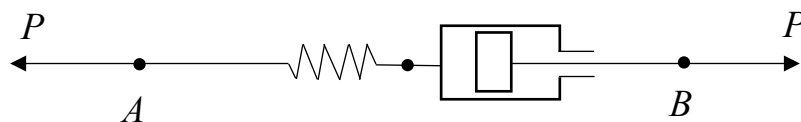


Рисунок 2.2 - Модель в'язко-пружності Максвела

При цьому зміщення точок A та B під дією сили P буде становити:

$$\delta = \delta^e + \delta^c. \quad (2.4)$$

Пружна частина зміщення пропорційна діючій силі:

$$\delta^e = \lambda P. \quad (2.5)$$

Для в'язкого елемента сила P пропорційна швидкості руху поршню відносно циліндру:

$$P = \eta \frac{d\delta^c}{dt}. \quad (2.6)$$

Отже, диференціюючи (2.4) по часу та враховуючи співвідношення (2.5) та (2.6), знаходимо:

$$\frac{d\delta}{dt} = \lambda \frac{dP}{dt} + \frac{1}{\eta} P. \quad (2.7)$$

Стосовно елемента тіла при одновимірному напруженому стані отримуємо:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta}, \quad (2.8)$$

де σ, ε - напруга та деформація розтягнення;

E – модуль пружності;

η - стала в'язкості.

Модель Максвела співпадає з основною моделлю тіла за пружних деформацій та деформацій повзучості від напруги. Взагалі ця модель використовується для пластичних матеріалів.

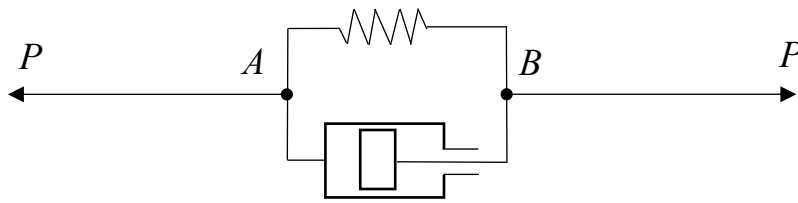


Рисунок 2.3 - Модель в'язко-пружності Фойгта

Модель Фойгта будується на паралельному з'єднанні елементів пружності та в'язкості, якого загальна сила:

$$P = P^e + P^c = \frac{1}{\lambda} \delta + \eta \frac{d\delta}{dt}, \quad (2.9)$$

де $\delta = \delta^e + \delta^c$ - відносне переміщення точок A та B .

Для елементу тіла з (2.9) отримуємо:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (2.10)$$

Модель Фойгта не дає правильного уявлення поведінки конструкційних матеріалів під навантаженням, але може бути використана до опису мікропроцесів у матеріалі, внутрішнього тертя при змінних напруженнях. Модель Кельвіна є підсумковою моделлю Максвела та Фойгта (Рис.2.4).

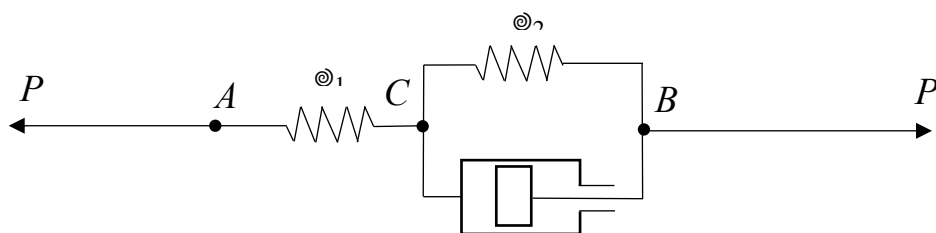


Рисунок 2.4 - Модель в'язко-пружності Кельвіна

У моделі Кельвіна відносний рух точок A та B становить:

$$\delta = \delta_{AC} + \delta_{CB} , \quad (2.11)$$

де $\delta_{AC} = \lambda_1 P$ – зміщення ланки AC .

Диференціюємо співвідношення (2.11) і знаходимо:

$$\frac{d\delta}{dt} = \lambda_1 \frac{dP}{dt} + \frac{d\delta_{CB}}{dt} . \quad (2.12)$$

За допомогою (2.10) для моделі Фойгта знаходимо:

$$\frac{d\delta_{CB}}{dt} = \frac{P}{\eta} - \frac{1}{\lambda_2 \eta} \delta_{CB} = \frac{P}{\eta} - \frac{1}{\lambda_2 \eta} (\delta - \lambda_1 P) . \quad (2.13)$$

З співвідношень (2.12) та (2.13) отримуємо рівняння:

$$d\delta + \frac{1}{\lambda_2 \eta} \delta = \frac{1}{\eta} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) P + \lambda_1 \frac{dP}{dt} . \quad (2.14)$$

Переходячи на засадах моделі Кельвіна за одно-вісьового розтягнення, отримуємо:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_2 \varepsilon}{\eta} = \frac{1}{E_1} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} \frac{E_1 + E_2}{E_1} \sigma . \quad (2.15)$$

Якщо $E_1 = E_2, E_2 = 0$, то рівняння (2.15) співпадає з рівнянням (2.8) для моделі Максвелла; якщо $E_1 \rightarrow \infty, E_2 = E$, то отримуємо рівняння (2.11) для моделі Фойгта.

У підсумку ми отримуємо три моделі з виразів (2.8), (2.10) та (2.15) відносно деформації ε .

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varepsilon}{dt} &= \frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \\ \varepsilon + \frac{\eta}{E} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} &= \frac{\sigma}{E} \\ \varepsilon + \frac{\eta}{E_2} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} &= \frac{\eta}{E_1 E_2} \cdot \frac{d\sigma}{dt} - \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \sigma \end{aligned} \right\}. \quad (2.16)$$

Отже, усі три моделі дають опис одного й того ж процесу і за певних зауважень можуть використовуватись одна замість іншої [14], оскільки у основі побудови покладено одні й ті ж елементи. У такому випадку є можливість вивести одну посередню залежність з усіх трьох рівнянь (2.16). Приймаємо, що $E_1 = E_2 = E$.

$$\frac{\eta}{E_1 + E_2} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \varepsilon = \sigma + \frac{\eta}{E_1 + E_2} \cdot \frac{d\sigma}{dt}. \quad (2.17)$$

Звідсіля (25) можемо створити спрощене рівняння:

$$k_1 E \frac{d\varepsilon}{dt} + k_2 \varepsilon = \sigma + k_1 \frac{d\sigma}{dt}. \quad (2.18)$$

Нехай у першому випадку $\sigma = const$, тоді рівняння (2.18) приймає вигляд:

$$k_1 E \frac{d\varepsilon}{dt} + k_2 \varepsilon = \sigma, \quad (2.19)$$

де $k_1 = \frac{\eta}{E_1 + E_2}$, $k_2 = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$, модуль E береться з моделі Фойгта (2.10).

Загальним рішенням цього рівняння буде:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{k_2} + \sigma \frac{k_2 - E}{k_2 E} \left(1 - e^{\frac{-k_2 t}{k_1 E}} \right). \quad (2.20)$$

Закон подальшої поведінки деформації можна визначити при $\sigma = 0$ та $\varepsilon = \varepsilon_0$, при $t = t_0$, тобто

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{\frac{k_2(t-t_0)}{k_1 E}}. \quad (2.21)$$

Нехай тепер $\varepsilon = \text{const}$, тоді з рівняння (2.18) отримуємо:

$$k_1 \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = k_2 \varepsilon, \quad (2.22)$$

загальне рішення якого зводиться до наступного вигляду:

$$\sigma = k_2 \varepsilon + (\sigma_0 - k_2 \varepsilon) e^{\frac{t}{k_1}}. \quad (2.23)$$

У випадку, якщо напруження змінюється пропорційно часу $\sigma = \nu t$, тоді рівняння (2.18) приймає вигляд:

$$k_1 E \frac{d\varepsilon}{dt} + k_2 \varepsilon = \nu t + k_1 \nu. \quad (2.24)$$

Рішенням цього рівняння буде наступна залежність:

$$\varepsilon = \frac{\nu t}{k_2} + \frac{k_1 \nu}{k_2} \left(1 + \frac{E}{k_2} \right) \left(1 - e^{\frac{k_2 t}{k_1 E}} \right). \quad (2.24)$$

Аналогічно можна знайти рішення і при умові, що деформація змінюється за лінійним законом $\varepsilon = vt$, тобто

$$\sigma = k_2 vt + k_1 (E - k_2) \left(1 - e^{-\frac{t}{k_1}} \right) v. \quad (2.25)$$

Отже, як факт констатуємо, що розвиток навантажень і деформацій у масі відбувається за експоненційним законом (2.24), (2.25). З іншого боку, характер руху, теж мав експоненційний характер. Таким чином, весь характер змін при деформаціях має експоненційний вигляд.

Продовжуючи тему про зв'язок швидкостей руху з параметрами досліджуваного матеріалу, необхідно розглянути явище удару як один із засобів отримання інформації про твердість. Отже, уявимо, що на тіло подіяла якась сила F , яка почала діяти у час t_1 , а закінчила у час $t_2 = t_1 + \tau$, де τ - час дії ударної сили. Тіло, яке рухається під дією своїх сил і отримує удар, як наслідок, має імпульси сил I і I_k . Імпульс I є імпульсом, який належить до сили удару F , а I_k - є імпульс рівнодіючої сили F_k . За теоремою зміни кількості руху матеріальної точки [28]

$$mv_2 - mv_1 = I + I_k. \quad (2.26)$$

Отже, імпульс I_k сили F_k за нескінченно маленький впроміжок часу τ буде величиною того ж порядку, що і τ . Імпульс I ударної сили F за цей час є величиною цілком визначеною. Як наслідок, імпульсом I_k , у порівнянні з I , можна знехтувати. Тоді рівняння (2.26) отримує вигляд:

$$mv_2 - mv_1 = I. \quad (2.27)$$

або

$$v_2 - v_1 = \frac{I}{m}. \quad (2.28)$$

Рівняння (2.28) доводить, що швидкість v_2 відрізняється від швидкості v_1 на кінцеву величину $\frac{I}{m}$. Оскільки тривалість удару τ досить мала, а швидкість має кінцеву величину, то зміщення точки за час удару досить мале і ним можна знехтувати. Наразі для вимірювання твердості використовують прямий удар, коли вектор швидкості падаючого тіла (індентора) перпендикулярний до поверхні. Окрім того, бажаний збіг з вектором сили земного тяжіння. Така вимога ґрунтується на тому, що отримати калібровану силу удару досить складно. Куди більш простіше виміряти швидкість під час удару сучасними методами. Отже, якщо індентор наносить удар по тілу на швидкості v_1 , то відскок відбувається на швидкості v_2 .

Водночас вводиться поняття коефіцієнта відновлення при ударі

$$k = \left| \frac{v_2}{v_1} \right|. \quad (2.29)$$

Якщо ми користуємось кулькою, яка падає з h_1 , то швидкість удару:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} \quad (2.30)$$

за теоремою зміни кінетичної енергії при ударі визначається швидкість відскоку v_2 , тобто

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} \quad (2.31)$$

Користуючись формулою (2.29), отримуємо:

$$k = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}. \quad (2.32)$$

Коефіцієнт відновлення повністю залежний від твердості, як кульки, так і досліджуемого матеріалу. Чим ближче коефіцієнт k до одиниці, тим більш твердим є досліджуваний матеріал [..].

Процес удару, як такий, вивчається досить давно. Так у [..] наводяться відповідні діаграми, які практично співпадають з наведеними нами діаграмами (Рис.2.1), але наведено більш добірний фізико-математичний аналіз ніж [25]. При цьому розрізняють пружний удар кульки та пластичний. При цьому, при пружному ударі посилаються на роботи Геруа [30]. За пластичного удару – на Майера. При цьому пружному удару відповідає часу τ , а пластичному α_3 . Згідно моделі Геруа, розглядається удар кульки радіусу R по твердій площині нескінченної маси та радіусу з силою

$$F = k_1 h^{3/2} . \quad (2.33)$$

Тривалість удару визначається

$$t = 4.53 \left[\frac{2(1 - E_{\Pi}^2)m}{\pi E \sqrt{RV}} \right]^{2/5} , \quad (2.34)$$

Яке може сягати максимальної величини

$$t_{\max} = \left[\frac{15(1 - E_{\Pi}^2)m}{8\sqrt{RV} \cdot E} \right]^{2/5} . \quad (2.35)$$

При цьому заглиблення становить:

$$h = \frac{3(1 - E_{\Pi}^2)}{2E \cdot a} \cdot F , \quad (2.36)$$

У цих виразах E модуль пружності, R – радіус кульки, m - маса кульки, V – швидкість кульки, E_{Π} – коефіцієнт Пуассона. Коефіцієнт k_1 визначається як

$$k_1 = \frac{\sqrt{R} \cdot E}{3(1 - E_{\Pi}^2)}, \quad (2.37)$$

а коефіцієнт як

$$k_1 = \frac{3R(1 - E_{\Pi}^2)}{2E} F \quad (2.38)$$

Зміна сили від часу за цими рівняннями приймається синусоїдальною, що спрощує розрахунки, але погано співпадає з дослідними результатами, оскільки ця теорія не враховує пружних коливань.

За пластичним ударом по Майєру не враховуються витрати енергії на пружне деформування. При цьому за сили удару

$$F = k_2 h \quad (2.39)$$

тривалість удару визначається як

$$t_{\max} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2\pi\sigma_T R}}. \quad (2.40)$$

При цьому заглиблення буде становити:

$$h = V \sqrt{\frac{m}{2\pi\sigma_T R}} \sin \sqrt{\frac{2\pi\sigma_T R}{m}}. \quad (2.41)$$

Де $k_2 = 2\pi\sigma_T R$. За чисто пластичного деформування крива сила-час змінюється від максимуму до нуля. У дійсності тривалість удару за рахунок пружної релаксації буде приблизно у 1,4 рази більше.

Отже, залежності (2.33) та (2.34) для пружного удару, та залежності (2.39) та (2.40) для пластичного дозволяють вирахувати максимальну силу та тривалість удару. Наслідки розрахунків можуть бути підтверджені дослідями.

Такий спосіб оцінки твердості має своє продовження, коли ефект плигання індентора перетворюється на дослідження примусової вібрації. У цьому випадку індентор притискається до досліджуваної поверхні і вводиться у стан вібраційного збурення. У такому випадку механічний імпеданс коливальної системи, яка складається з індентора та зразка матеріалу, у межах досліджуваної поверхні буде змінюватися залежно від властивостей матеріалу. Наразі це різні динамічні системи з одним рівнем свободи. Механічним імпедансом або повним механічним опором такої системи є співвідношення комплексних амплітуд збурюючої сили F та викликаємою її коливальної швидкості \dot{v} :

$$z = \frac{F}{\dot{v}}. \quad (2.42)$$

У комплексній формі механічний імпеданс з одним ступенем свободи має вигляд :

$$z = r + j\omega m + \frac{1}{j\omega k}, \quad (2.43)$$

де r – активний опір (дисипативний член), який характеризує загасання коливань;

$j\omega m$ – інерційний член, який визначається масою m системи, та частотою ω її коливань;

$\frac{1}{j\omega k}$ – член, який характеризує пружний опір коливальної системи, на який, окрім частоти, впливає гнучкість системи K (величина, зворотна пружності). Отже, для дослідження на твердість застосовують частковий випадок коливальної системи, яка керується пружністю, коли перший та другий член рівняння (2.35) невеликі у порівнянні з третім, тобто

$$\frac{1}{\omega k} \gg r \text{ та } \frac{1}{\omega k} \gg \omega m . \quad (2.44)$$

За досить великого абсолютного значення механічного імпедансу $|z_k|$ виробу у зоні контакту повний механічний опір перетворювача (його навантаження) мало відрізняється від пружного опору:

$$z_k \approx \frac{1}{j\omega K_k} . \quad (2.45)$$

Власна частота навантаженого перетворювача однозначно зв'язана з z_k і як наслідок, твердістю об'єкту контролю. Контактна гнучкість K_k у рівнянні (2.37) складається з гнучкості K_1 індентора та гнучкості K_2 контролюємої поверхні:

$$K_k = K_1 + K_2 . \quad (2.46)$$

Гнучкість K_1 ґрунтується на механічних властивостях матеріалу індентора невелика у порівнянні з K_2 .

Отже, контактна гнучкість K_k визначається переважно гнучкістю матеріалу підконтрольного об'єкту, тобто $K_k \approx K_2$.

Власна частота чутливого елементу навантаженого перетворювача характеризується масою та гнучкістю коливальної системи

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{mK}} . \quad (2.47)$$

Наразі залежність (2.47) використовується для визначення твердості на засадах резонансної частоти ω .

Отже, користуючись вище викладеними тезами моделювання пружних та в'язких властивостей матеріалу, можемо створити наступну модель руйнування поверхні індентором для отримання параметру твердості матеріалу.

Вільному руху індентора у тілі зразка заважають його пружність та в'язкість. Наразі ми попередньо розглянули моделі в'язкопружності матеріалів, тому маємо можливість скористатися ними для побудови своєї моделі для визначення твердості. З трьох вище означених моделей оберемо модель Максвела, як найпростішу. Звісно можна брати і більш складну Фойгта або Кельвіна, але це приховає справжній процес за складними математичними викладками.

Таким чином, розглянемо процес входження індентора та його вихід з тіла зразка. При входженні індентора у тіло зразка, він має задану швидкість $k_i V_p(U)$. Ця швидкість є тою, яка задає система руху індентора. При цьому індентор проходить шлях, який показано у (2.38), і який є уявним. Але опір, який отримує індентор, призводить до того, що шлях визначається за виразом (2.39). Для того, щоб пройти шлях $L_{tr}(U)$, індентор повинен рухатися з швидкістю

$$k_i V_p(U) = \sqrt{2a_U x}, \quad (2.48)$$

де a_U - уявне прискорення гальмування,

x - плинна координата.

У реальній ситуації індентор ніколи не пройде відстань за виразом (2.38), оскільки цьому будуть заважати в'язкість та пружність зразка матеріалу. Отже, нам необхідно знайти співвідношення уявної та реальної швидкості, тобто

$$\frac{V_p(R)}{V_p(U)} = \frac{\sqrt{2a_R h_R}}{\sqrt{2a_U h_U}}. \quad (2.49)$$

Для вирішення цієї залежності скористаємось моделлю Фойгта. Для цього, рівняння (2.49) перепишемо з використанням нашої системи координат.

$$F = \frac{h}{k} + \eta \frac{dh}{dt}, \quad (2.50)$$

де F – діюча сила,

k - коефіцієнт пружності,

η - коефіцієнт в'язкості.

За нашими умовами

$$k_i V_p(U) = \frac{dh}{dt}. \quad (2.51)$$

Підставляючи (2.51) у (2.50), отримуємо:

$$k_i V_p(U) = \frac{1}{\eta} \left(F - \frac{h}{k} \right). \quad (2.52)$$

З іншого боку

$$k_i V_p(U) = \sqrt{2a_R h}, \quad (2.53)$$

звідкіля

$$\left[k_i V_p(R) \right]^2 = 2a_R h = \left[\frac{1}{\eta} \left(F - \frac{h}{k} \right) \right]^2. \quad (2.54)$$

З виразу (2.54) маємо можливість отримати a_R у вигляді:

$$a_R = \frac{1}{2h} \left[\frac{1}{\eta} \left(F - \frac{h}{k} \right) \right]^2. \quad (2.55)$$

Для отримання остаточної залежності підставимо отриманий результат (2.55) у (2.49), тобто

$$\frac{V_p(R)}{V_p(U)} = \frac{\frac{1}{\eta}(F - \frac{h}{k})}{\sqrt{2a_U[h - k_i V_p(U)T]}} \quad (2.56)$$

або

$$V_p(R) = \frac{1}{\eta}(F - \frac{h}{k}) \sqrt{\frac{h}{[h - k_i V_p(U)T]a_U}}. \quad (2.57)$$

Аналогічно можна отримати залежність і за моделями Максвелла та Кельвіна.

Отже, для того, щоб точно визначитися з величиною $h_0(R)$, необхідно виходити з торкання з невеликою швидкістю. Тобто $k_i V_p(R) \ll k_i V_p(U)$, і тільки після отримання сигналу про вихід з торкання можна значно збільшувати швидкість. Таким чином, незважаючи на те, що в основі ми прийняли симетричний спосіб торкання, у наслідку ми користуємось відтяжним. Такий спосіб виходу з торкання надасть можливість максимально точно визначитися з глибиною чарунки, яку полишає після себе індентор. У цьому випадку поверхня, яка має пружні властивості повертається до свого попереднього стану, тобто поверхня з координати $h_0(R)$ наближається до координати $h_n(R)$. Безпосередньо сигнал координати поверхні для системи ЧПК з'являється у координаті $h_n'(R)$. За невеликої швидкості руху індентора різниця між усіма трьома координатами $h_0(R)$, $h_n(R)$ та $h_n'(R)$ не перевищує величини $[S]$, що цілком реально до виконання системою CNC верстата. Окрім того, система керування дозволяє багаторазово вимірювати глибину отриманої чарунки та автоматично обраховувати результат.

Якість та точність вимірювання твердості залежить від швидкості руху індентора.

Рух індентора може бути або плоскопаралельним в одному напрямку, або коливальним згідно обраного напрямку.

Такі різновиди швидкості призводять до виникнення цілої низки методик вимірювання мікротвердості, кожна з яких має певні переваги над іншою. однозначно визначитися з ступінню якості методики по відношенню до іншої є вкрай складною задачею. Основною проблемою цього вимірювання є точність визначення параметрів руху індентора, тобто величини його переміщення, швидкості руху та вібраційних характеристик.

Окрім того, результати вимірювання вельми залежними від координат вимірювання мікротвердості, оскільки розташування вершини індентора за звичайних методик є вкрай невизначеним.

Чим точніше ми вимірюємо параметри руху індентора, тим точніше буде визначено величину мікротвердості матеріалу деталі. Отже, загальний результат вимірювання є залежним від координат розташування вершини індентора при вимірюванні, оскільки можливі варіації твердості можуть сягати досить великих величин залежно від попадання чи не попадання на зони підвищеної або зниженої мікротвердості.

2.2 Алгоритми контролю роботи автоматичного мікротвердоміра

Для перевірки здатності АМТ до роботи існує спеціальний передстартовий алгоритм контролю (рис.2.9). Згідно з цим алгоритмом АМТ, який знаходиться у стартовій позиції, не може знаходитись у зоні присутності коло деталі та не може торкатись її поверхні [19]. У цьому випадку повинні виконуватись передстартові умови, тобто рівні вихідних сигналів повинні бути наступними:

$$T_1 = 0; \overline{T_1} = 1; T_2 = 0; \overline{T_2} = 1; \Gamma = 1. \quad (2.58)$$

Якщо не виконується ця умова, то система є підлеглою перезапуску. Кількість перезапусків обумовлюється у програмі. Якщо і цього разу не виконується умова (2.58), то починає діяти процедура “Відмова”.

Якщо виконується ця умова (2.58), то утворюється наступна команда - дозвіл на контроль другого ступеню. За цією командою на АМТ подається спеціальна команда контролю, яка контролює чутники торкання поверхні та тиску. При подачі цієї команди вихідні команди АМТ повинні бути наступні:

$$T_1 = 1; \overline{T_1} = 0; T_2 = 1; \overline{T_2} = 0; \Gamma = 1. \quad (2.59)$$

Якщо не виконується ця умова, то система вимагає перезапуску. Кількість перезапусків обумовлюється у програмі. Якщо і цього разу не виконується умова (2.59), то починає діяти процедура “Відмова”.

Якщо виконується ця умова, то утворюється команда – дозвіл на рух інструменту з швидкістю $V_i = k_i \cdot V_p$ (V_p – максимальна швидкість). У випадку відмови умови (1, 2) система CNC повторює контроль системи у кількості, заданій основною програмою роботи системи CNC. При перебільшенні відмов цієї кількості утворюється команда “відмова роботи” (В). В процесі руху інструменту до деталі можуть використовуватись два варіанти алгоритмів.

Згідно першого варіанту інструмент рухається назустріч деталі [20] з заданою швидкістю та очікуванням появи сигналу “торкання” ($T_1 = 0; \overline{T_1} = 1;$) і тільки тоді виконується програма гальмування (Рис.2.9). Вхідження у зону торкання поверхні деталі та реєстрація її координати може відбуватися за варіантами, запропонованими у розд.

У другому варіанті інструмент робить кроки у напрямку деталі таких розмірів, щоб не допустити аварійної ситуації, але кожний крок є підконтрольним системі АМТ (рис.2.10). та CNC. Вхідження у зону поверхні деталі та реєстрація її координати може відбуватись за тим же принципом, що і в попередньому.

При необхідності отримання абсолютних значень зносу індентора використовується АНБ, координати площин якої занесені до пам’яті CNC. Окрім

того, над площинами вимірювання існують уявні стартові крапки вимірювання, координати яких теж занесені до пам'яті CNC. У разі необхідності вимірювань перегони АМТ відбуваються за спеціальними траєкторіями, манівцями навколо деталі. Метою перегонів є уявна стратова крапка над необхідною площиною АНБ. Рух АМТ при цьому відбувається першого вищезгаданого варіанту. Підхід до вимірювальної площини з позиціонування у стартовій крапці відбувається за другим варіантом, але з суттєвим обмеженням. Сутність обмеження полягає у тому, що крок руху за розмірами обирається рівним кроку позиціонування рухомої системи верстата. Для того, щоб менше псувати вимірювальну поверхню АНБ, перед кожним наступним виміром координата уявної старт крапки позиціонування змінюється на один крок позиціонування рушійної системи. Кількість таких кроків задається програмно з урахуванням максимального використання робочої площини.

У випадку, коли АМТ відмовляється працювати до дії вступає програма процедури “Відмова” (Рис.2.9). Згідно з цим алгоритмом АМТ повертається у стартову позицію на максимальній швидкості V_p , або взагалі залишається

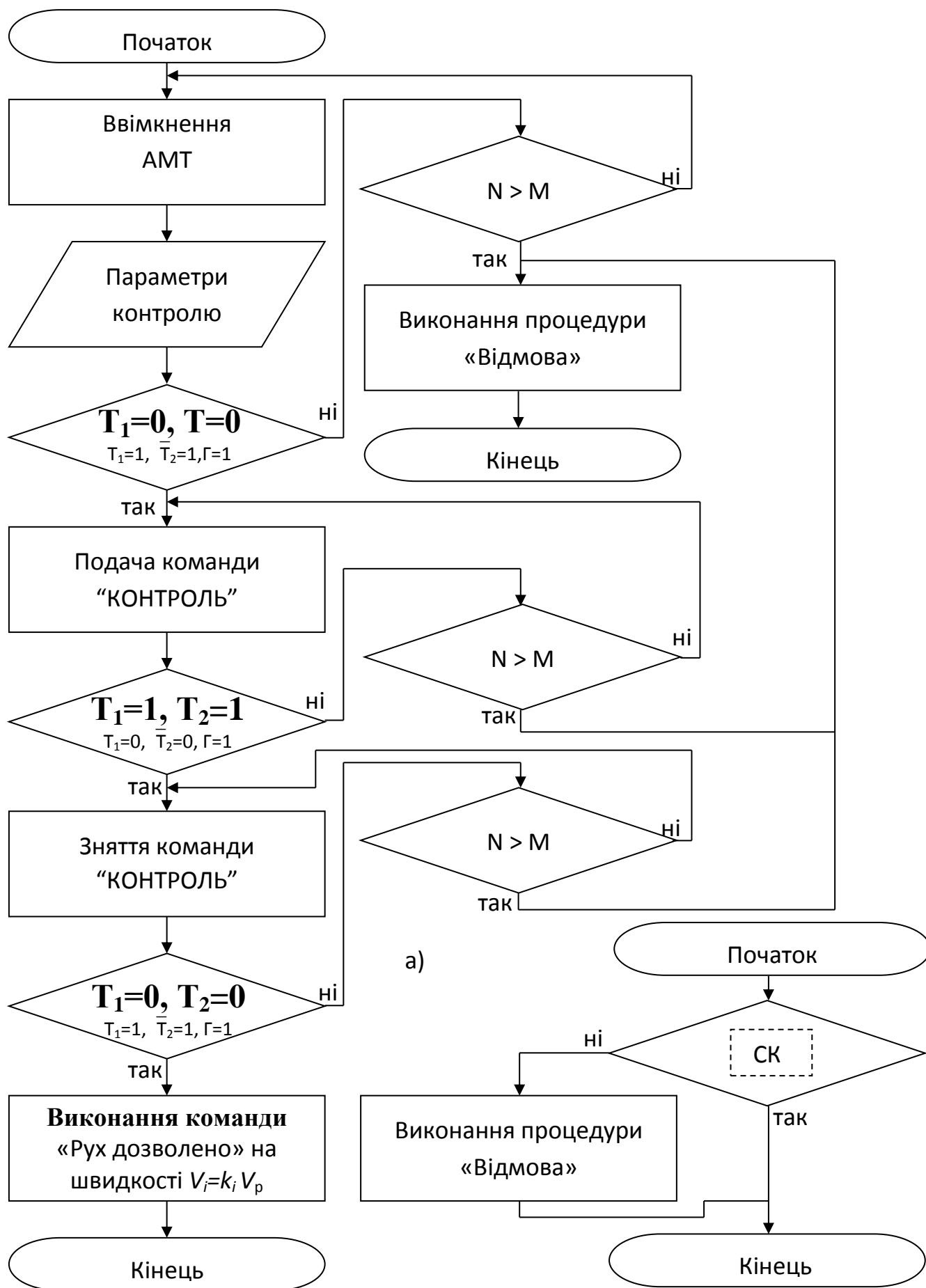
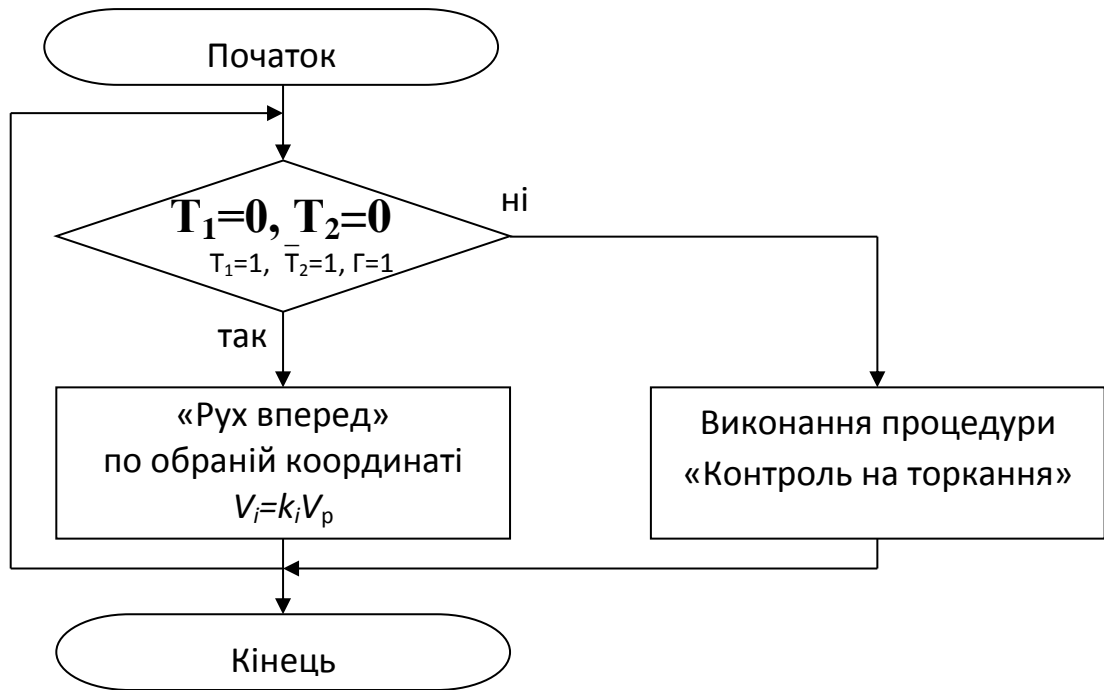
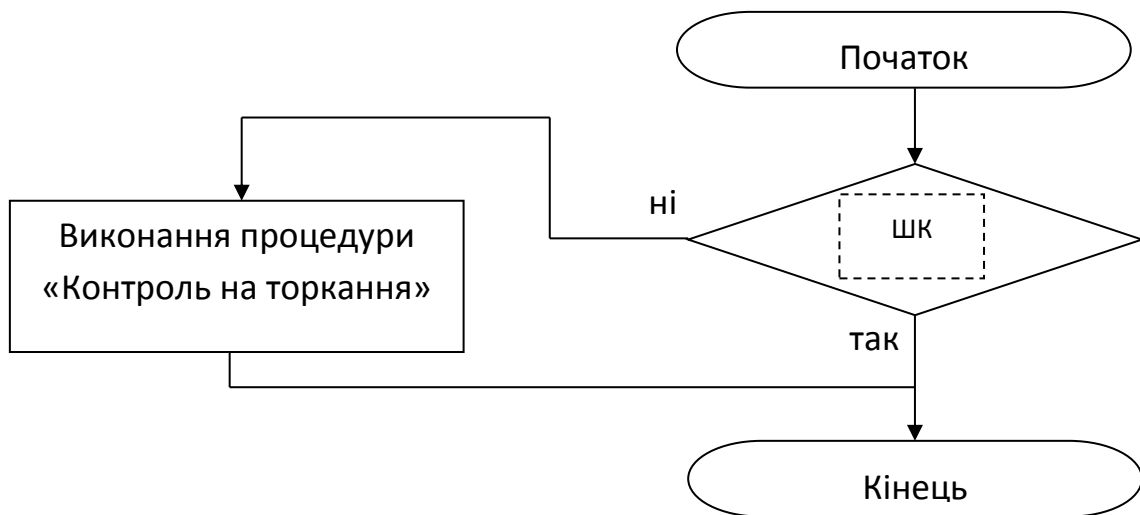


Рисунок 2.9 - Алгоритм "Старт-контроль" (СК),
а – внутрішня структура, б – умовне позначення.

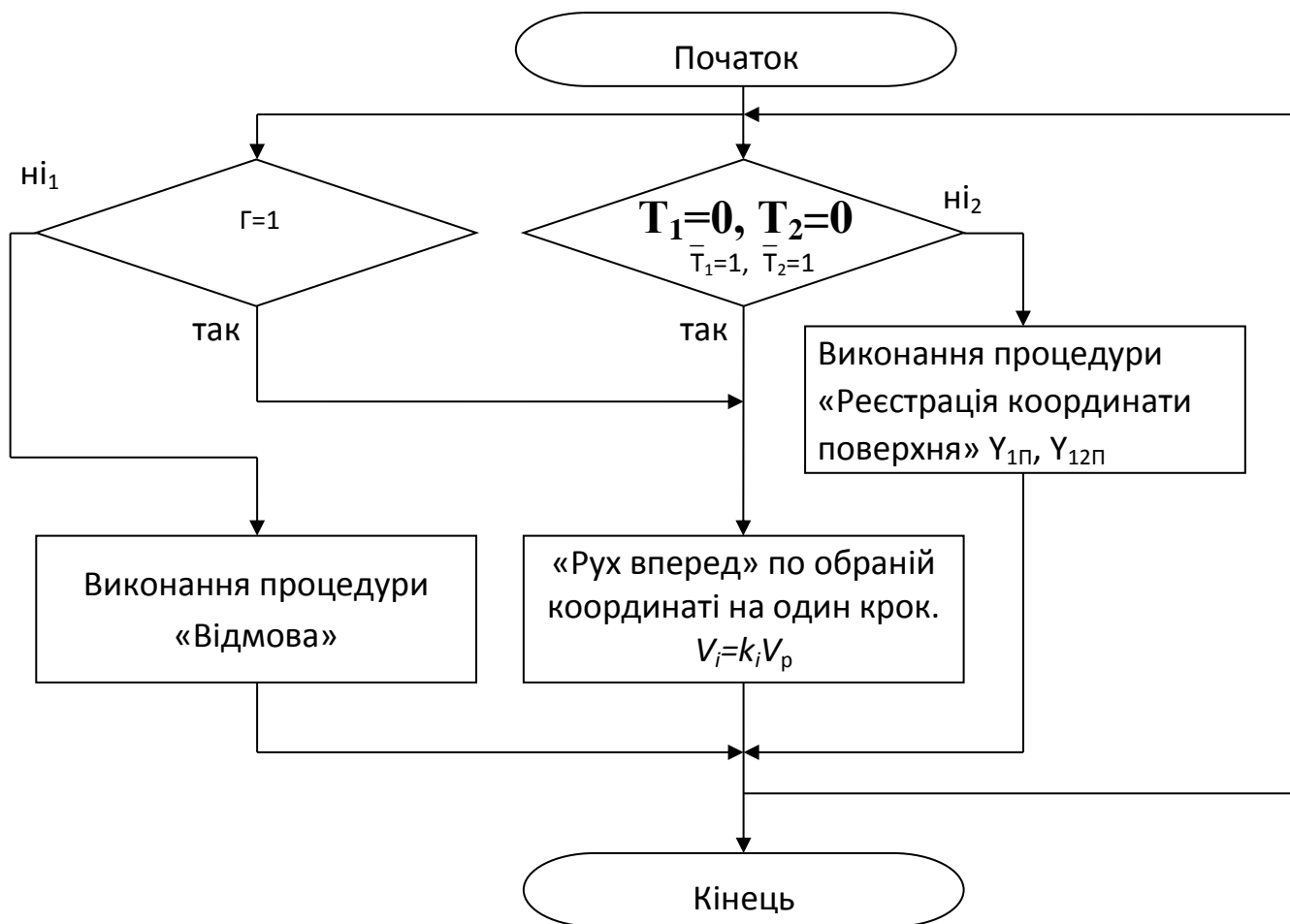


а)

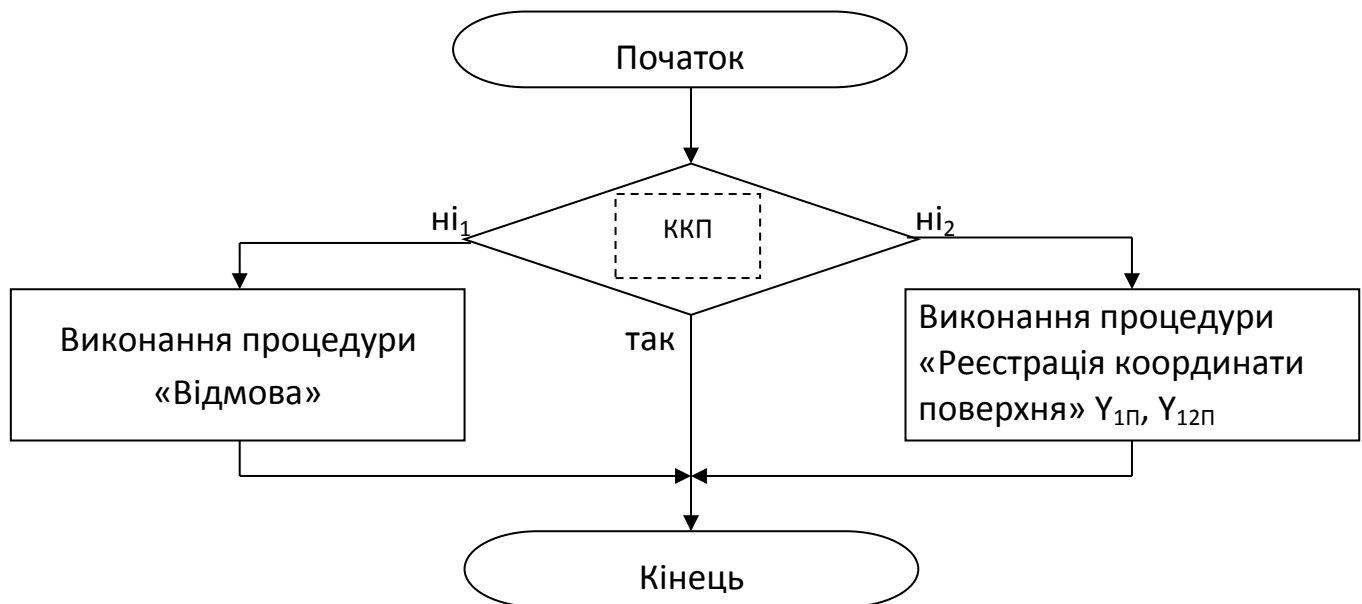


б)

Рисунок 2.10 - Алгоритм «Шлях-контроль» – ШК,
де а) внутрішня структура;
б) умовне позначення



а)

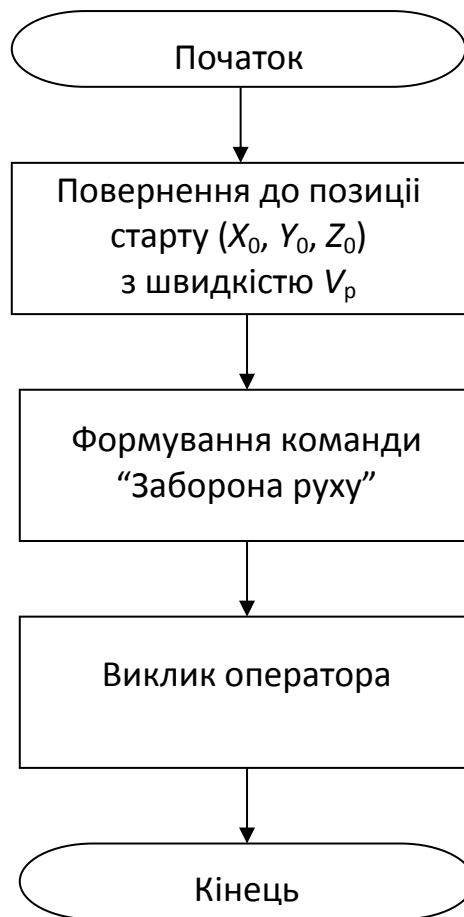


б)

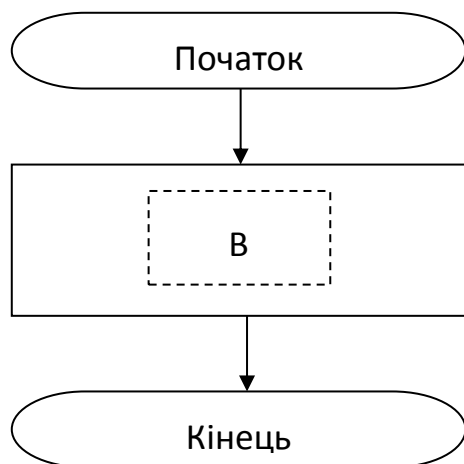
Рисунок 2.11 - Алгоритм «Крок-контроль на поверхню» – ККП

а) внутрішня структура;

б) умовне позначення



а)



б)

Рисунок 2.12 - Алгоритм процедури «Відмова» – В,
де а) внутрішня структура;
б) умовне позначення

нерухомим. Якщо аварійна ситуація виникла за процесу вимірювання твердості, то траєкторія руху обирається в залежності від конструкції деталі та АМТ. Як правило, це не є віддзеркаленням прямого руху інструменту. Так, наприклад, вихід розточного різця з зони різання значно відрізняється від його траєкторії різання. Якщо зважити на те, що система АМТ повинна бути постійно налаштованою на випадок надзвичайних ситуацій, то це викликає певні труднощі при програмуванні дій у надзвичайних ситуаціях. Кінцевою метою процедури “Відмова” є виклик оператора для з’ясування дійсних чинників відмови процесу контролю мікротвердості, та прийняття рішення про подальші дії. Для скорочення людського фактору втручання АМТ у випадку надзвичайної ситуації може виходити для контрольного вимірювання до АНБ. У разі незадовільних результатів вимірювання викликається оператор для з’ясування причин.

2.2.1 Алгоритм реєстрації “поверхні”

При входженні АМТ у зону поверхні деталі використовується алгоритм, відображений на (рис.2.13). Згідно цього алгоритму при входженні АМТ у зону поверхні деталі за утвореним сигналом “поверхня” ($T_1 = 1$; $\overline{T_1} = 0$) реєструється координата (наприклад, $Y_{1П}$). Спосіб входження у торкання з зоною присутності деталі краще за все обирати відскочний. Як довело дослідження по використанню різних способів торкання, відскочне має низку особливостей, які у більшості випадків є досить ефективними. Для отримання більш якісного значення координати може використовуватися багаторазове відскочне торкання, та деякі його різновиди в залежності від зовнішньої конфігурації деталі. Так після появи сигналу “поверхня” АМТ реверсує свій рух, відходячи від деталі на максимальній швидкості (V_p) до зникнення сигналу “поверхня”. Після цього знову проходить команда реверсу і АМТ рухається у напрямку деталі, але з значно меншою швидкістю $k_{i+1} \cdot V_p$, що дає можливість підвищити точність отримання координати

поверхні деталі. Такі цикли можуть повторюватись по кілька разів в залежності від необхідної точності отримання координати. До того

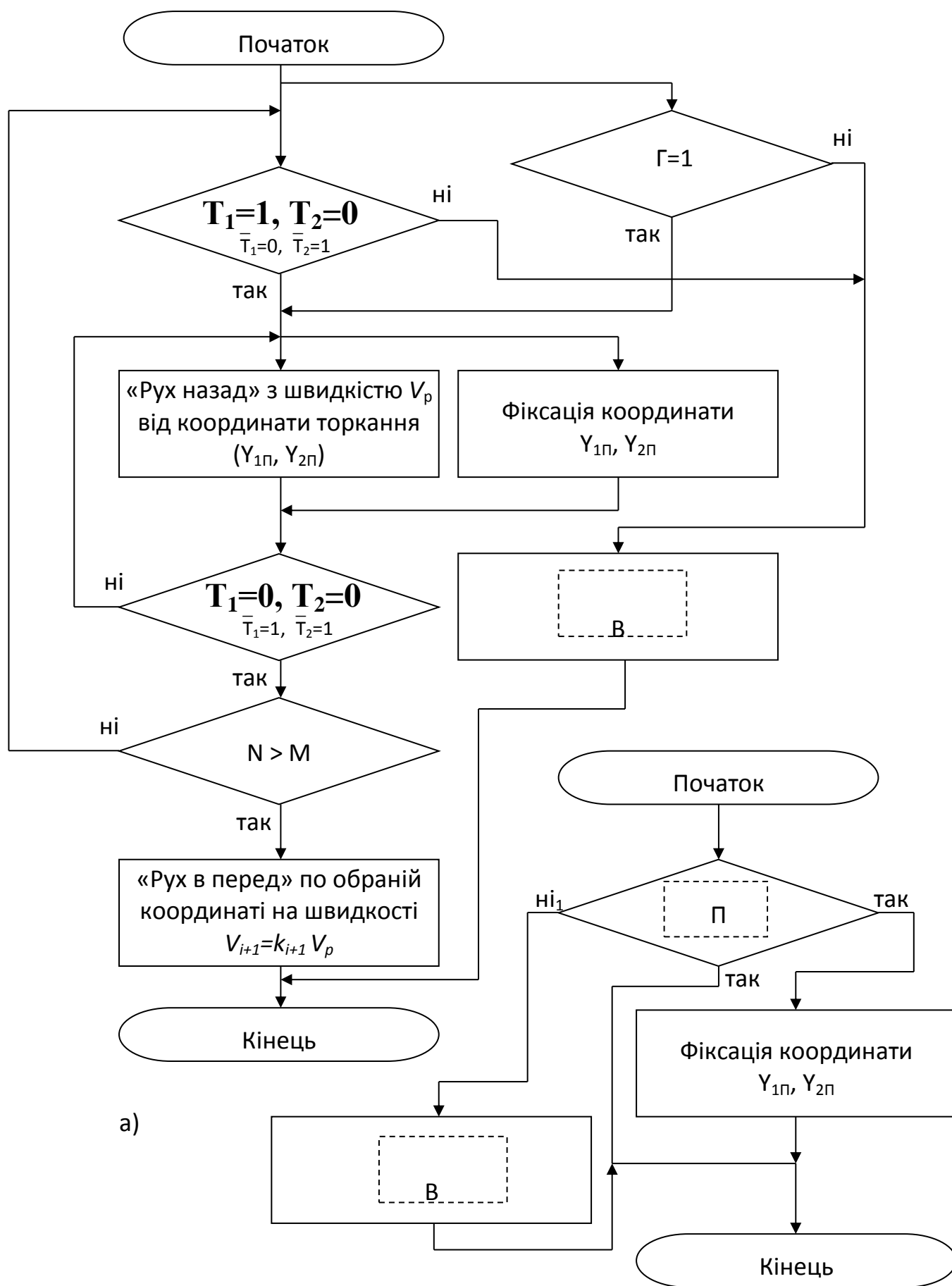


Рисунок 2.13 - Алгоритм реєстрації поверхні (П),
де а – внутрішня структура; б – умовне позначення

ж параметри швидкості руху можуть бути або стабільними, під час отримання координати, або з кожним циклом зменшуватись на визначену величину. Отриманий ряд координат, як правило, обчислюється з умови одержання середньостатистичної або за останнім виміром.

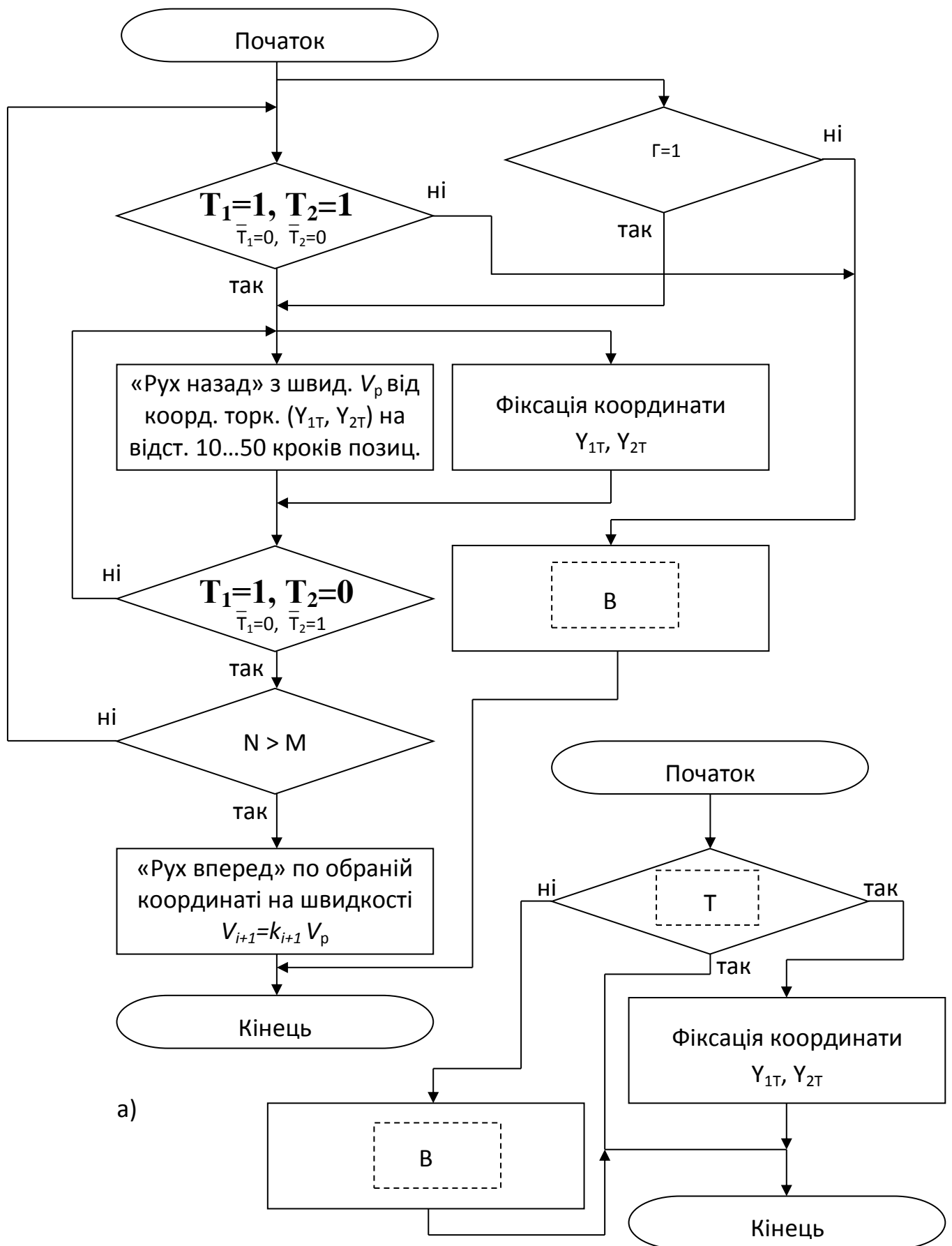
Більш ефективною є ситуація, коли рядок коефіцієнтів k_I закладається до пам'яті CNC у вигляді математичного закону. У такому випадку всі можливі похибки вимірювання автоматично є відомі і можуть бути враховані при вимірюванні.

2.2.2 Алгоритм тиску індентора на деталь

В умовах руху у зоні “поверхня” деталі та очікування тиску використовується алгоритм, відображений на рис.6. За цим алгоритмом при наявності торкання фіксується координата торкання з одночасним відходом од поверхні на 10...50 кроків позиціювання (як правило 10...50 мкм). Така розбіжність пояснюється наступним. Якщо індентор торкається АНБ, де є поверхня надвисокої частоти, то немає сенсу відходити від поверхні більш ніж на 10...15 мкм, адже поверхня чиста. У випадку, коли є необроблена заготовка до виробу деталі, необхідно відходити як можна далі, враховуючи можливі коливання поверхні деталі навколо своєї вісі обертання. При врахуванні, що коливання навколо вісі обертання можуть досягати 100...300 мкм, що є сумісним з глибиною занурення інструменту, то похибки можуть бути досить значні. У цьому випадку відскочне торкання є досить ефективним з метою визначення середньостатистичної глибини занурення інструменту і може застосовуватись кількаразово з спадаючою швидкістю. Отримані у такому випадку координати Y_{1T} , Y_{2T} , Y_{3T} ,... слугують уточненню середньостатистичного розміру деталі при обертальному русі.

Якщо ці координати отримуються серіями у кількох перетинах обертаємої деталі, це дає можливість утворити її “силует” відносно осі обертання, але не дає можливість оцінити відхилення від цього “силуету”. Для того, щоб була можливість оцінки відхилення від “силуету” (наприклад, ідеального циліндру)

обертальний рух деталі повинен бути синхронізований у часі з моментом виміру координати.



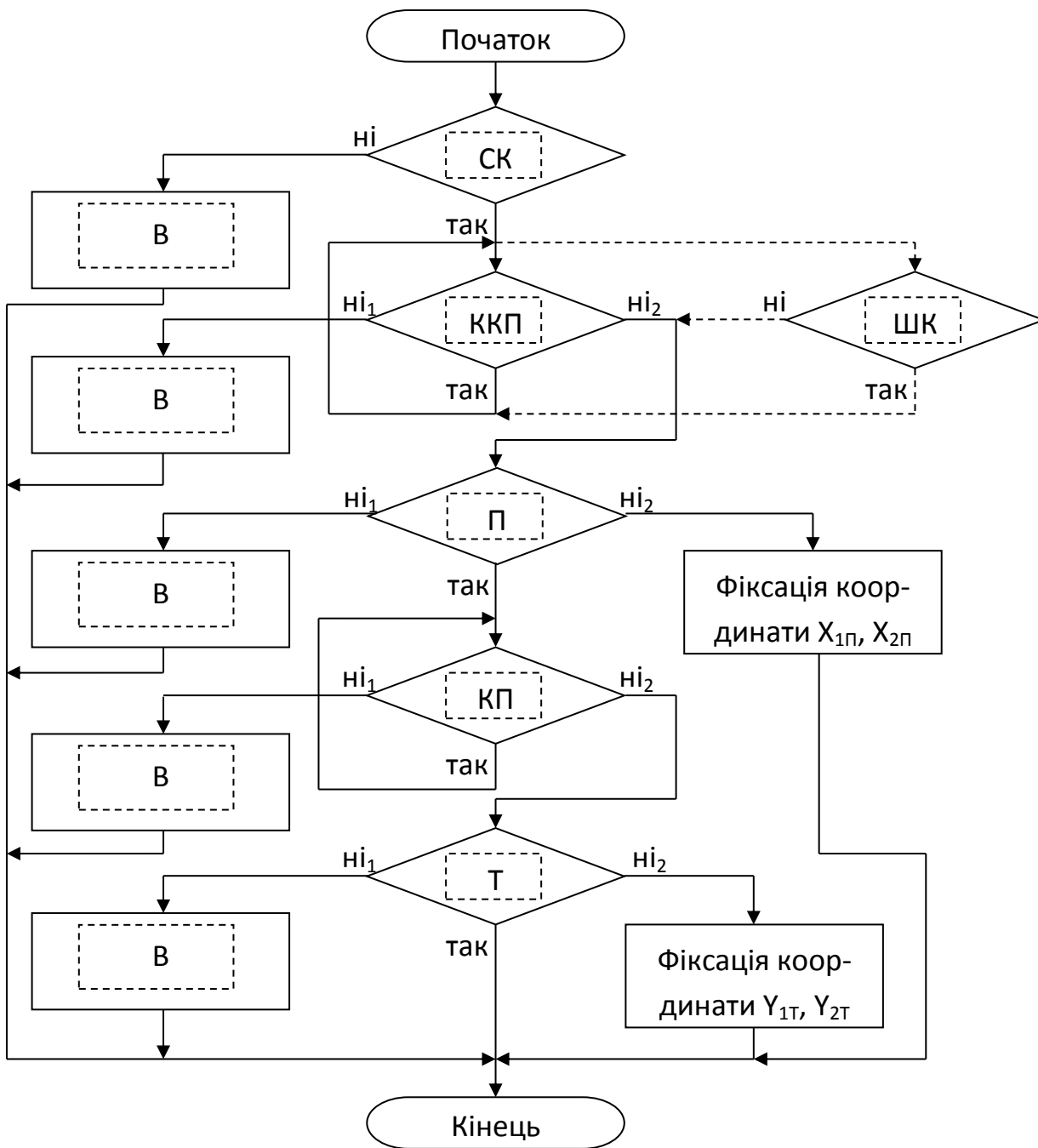
Рисунк 2.14 - Алгоритм реєстрації тиску– (T_2),
де а) внутрішня структура, б) умовне позначення

Оцінка відхилень від геометрії у такий спосіб дає можливість визначитись з глибиною різання і запобігти можливим руйнаціям індентора. Такий спосіб занурення індентора, окрім того, дає можливість заощадити робочий ресурс індентора за рахунок зняття значних навантажень при перехідних процесах.

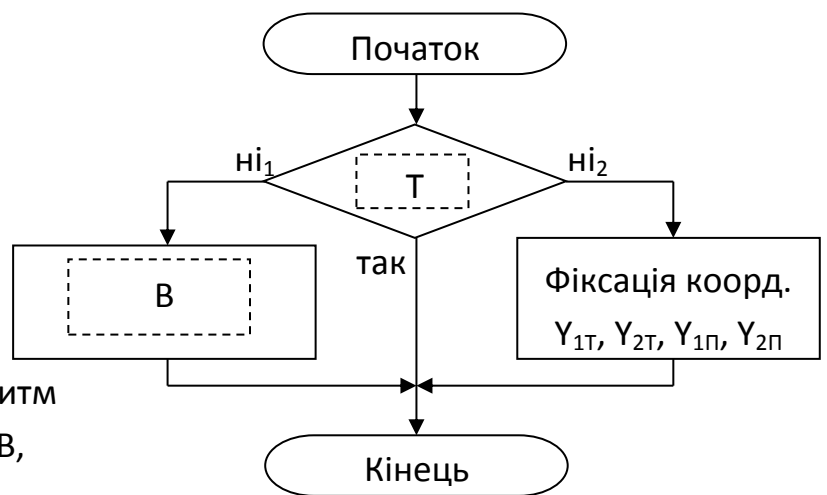
2.2.3 Ланцюговий алгоритм визначення руху АМТ

На засадах вищезгаданих алгоритмів будуються ланцюги вимірювання. Для прикладу на рис.2.15 відображено алгоритм вимірювання мікротвердості за координати одного перетину. До побудови такого алгоритму повинні бути обов'язково включені алгоритми “старт - контролю” та “відмови”. У подальшому можуть використовуватись алгоритми крок контролю поверхні (ККП) або шляхового контролю (ШК), що є не дуже критичним. В подальшому у ланцюгу використовується алгоритм реєстрації “поверхня” (T_1) та руху у зоні поверхні (КП) [24]. При торканні деталі спрацьовує алгоритм “торкання” (T_1). Паралельно часу руху інструменту з використанням вищеозначених алгоритмів весь ланцюг алгоритму торкання є підконтрольним алгоритму “відмова” (В).

Цей алгоритм є типовим при вимірюванні мікротвердості. При введенні його у пам'ять CNC необхідно враховувати виключно чергування його складових. Для виконання цього алгоритму є важливим кінцева координата, котра повинна вводитись у пам'ять CNC. Це значно спростовує процес програмування системи верстата, і не потребує виконавців високої кваліфікації. З цих вимірювальних ланцюгів є можливість утворювати різні більш складні алгоритми вимірювання (рис.2.16). За такого алгоритму у систему CNC вводяться лише координати крапок вимірювання. Після чого вони автоматично вводяться у ланцюговий алгоритм (рис.2.15) [25]. Змінюючи його параметри перед кожним вимірюванням є можливість досить значних варіацій стосовно конфігурації деталей, що значно полегшує процес програмування.



а)



б)

Рисунок 2.15 - Ланцюговий алгоритм
«Крок-вимірювання» – КВ,
де а) внутрішня структура,
б) умовне позначення

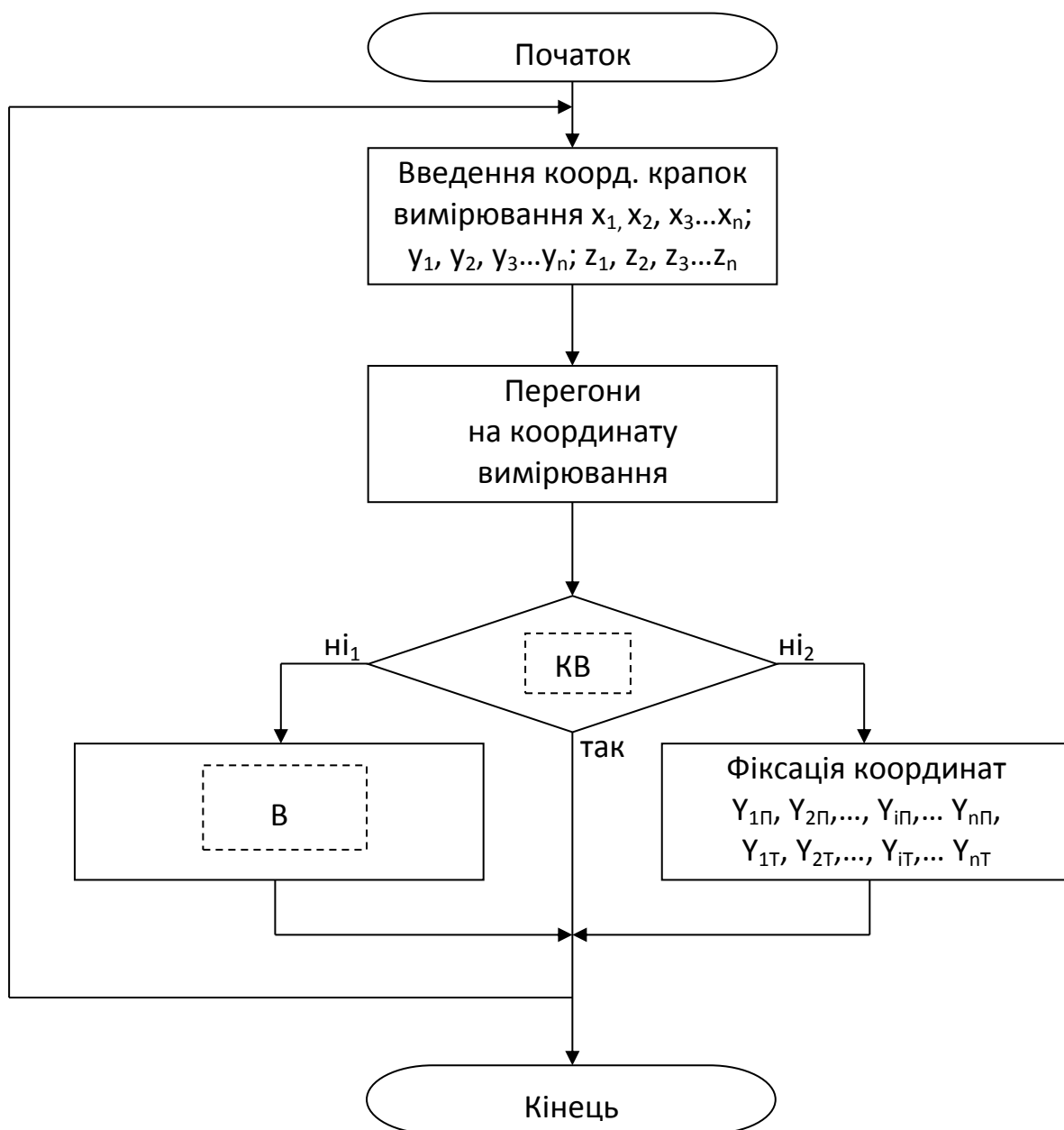


Рисунок 2.16 - Типовий алгоритм обміру деталі інструментом

2.2.4 Розрахунок надійності функціонування контрольно-вимірювального приладу

Розрахунок надійності функціонування мікротвердоміра потрібна для того, щоб оцінити довговічність системи та її важливих компонентів та вузлів. Одним із таких частин системи є плата генератора, від довговічності якої залежить робота і якість вимірювань електромагнітної головки [26], за допомогою якої здійснюється торкання до досліджуваного зразка. Якщо ми говоримо про серійне виробництво системи, то також потрібно враховувати те, що окремі елементи системи мають меншу зносостійкість в порівнянні з іншими. Тому прилад потрібно доукомплектовувати резервними компонентами для того, щоб робота приладу на виробництві була ефективною.

2.3 Аналіз необхідності резервування окремих елементів засобу, тип резервування [37].

Резервування є дуже важливим адже воно дозволяє, збільшити надійність виробу.

Сукупність основного і резервних елементів називається резервною групою. Розрізняють такі види резервування:

1. Навантажений (гарячий) резерв — містить один чи декілька резервних елементів, які перебувають у режимі основного елемента.

Резервні елементи знаходяться в тому ж режимі, що й основний елемент, їх надійність не залежить від того чи вони задіяні чи ні.

2. Ненавантажений (холодний) резерв, що складається з одного чи декількох резервних елементів, що перебувають в ненавантаженому стані до тих пір поки вони не включаються замість основного елемента.

Такі резервні елементи перебувають у вимкненому стані і до моменту їх включення є справними.

3. Полегшений (очікувальний) резерв — резерв, що складається з одного чи декількох резервних елементів, які перебувають у меншому навантаженні, ніж основний елемент.

2.3.2 Засоби та методи резервування.

Є чотири основних види засобів резервування:

- Апаратне резервування, наприклад, дублювання.
- Інформаційне резервування, наприклад — методи виявлення та виправлення помилок
- Часове резервування, наприклад, застосування методів альтернативної логіки для визначення збоїв.
- Програмне резервування — застосування незалежних функціонально рівнозначних програм.

Розрізняють такі методи резервування:

- загальне резервування — резервування, в якому резервується об'єкт в цілому;
- роздільне (поелементне) резервування — резервування, в якому резервуються окремі елементи об'єкта чи їх групи (блоки, вузли, елементи). Частковим випадком поелементного резервування є:
 - ковне резервування — заміщувальне роздільне резервування, в якому група основних елементів резервується одним чи декількома резервними елементами, кожний з яких може замінити будь-який з елементів цієї групи у випадку його відмови
- змішане резервування — поєднання різних видів резервування в одному об'єкті.

Доцільність використання резервування визначається такими факторами:

- вихідним рівнем надійності комплектуючих виробів;
- заданим часом експлуатації;

- наявністю ефективної системи контролю та періодичністю проведення профілактики;
- можливостями використання мінімально надлишкових методів підвищення надійності.

Дублювання

В розробленій моделі мікротвердоміра будуть резервуватись наступні деталі, такі, як: змінний індентор, кабель.

- Змінний індентор необхідно резервувати, через те, що при довгому використанні здійснюється зміна діаметрі наконечника, яка буде впливати на вимірювання твердості.
- Кабель необхідно резервувати через те, що є ймовірність того, що від може переламатись або пошкодитись і це може привести до припинення роботи приладу.

Невідновні деталі:

До таких деталей, які будуть входити в даний прилад і які згодом потрібно буде замінити, входять: пружина, шестерні, двигун, відчутними, електричні плати.

2.3.3 Опис методики розв'язання задачі надійності роботи обраного технічного засобу.

В даному випадку будемо розглядати однотипні компоненти, які знаходяться в нашому приладі, а саме: плати генератора. Спочатку ми визначемо закон розподілу довговічності приладу та обчислимо частоту відмови і функцію розподілу. Також потрібно буде визначити інтенсивність відмов. Використовуємо загальні рівняння для деяких випадків розподілу довговічної роботи елементів. Випадок який ми будемо використовувати, це випадок експоненціального закону. Суть методу полягає в тому, щоб визначити ймовірність появи якогось відхилень (подій), в нашому випадку це відмова компонента [28]. Практика показує, що для неочікуваних відмов часто справедливий експоненціальний закон, за допомогою

якого можна можна отримати достовірні результати, таким чином забезпечивши якісну і довготривалу роботу приладу загалом.

2.3.4 Виконання розрахунків основних показників надійності, виходячи з особливостей схеми засобу.

Визначення закону розподілення довговічності роботи.

Для обрахунку на довговічність та безвідмовність під час роботи було обрано плату генератора.

Вихідні дані обраємо згідно подальших розрахунків:

$N=15$ – кількість елементів в платі генератора.

$\Delta t= 10$ год – беремо 10 годинний робочий час.

$n_i=3$ - кількість відмов,що можуть відбуватись через різні фактри.

$i=1$ – проміжок через який вийшла з ладу певна кількість елементів.

Значення основних даних беремо з таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Таблиця значень для закону розподілу

| I | n_i | $f(t_i) \cdot 10^5$ | $\sum_{k=1}^i n_k$ | $F(t_i) \cdot 10^3$ | $\sum_{k=1}^{i-1} n_k$ | N_i | $\lambda(t_i) \cdot 10^5$ |
|-----|-------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------|---------------------------|
| 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1000 | 3 |
| 2 | 2 | 2 | 5 | 5 | 3 | 997 | 2 |
| 3 | 2 | 2 | 7 | 7 | 5 | 995 | 2 |
| 4 | 1 | 1 | 8 | 8 | 7 | 993 | 1 |
| 5 | 2 | 2 | 10 | 10 | 8 | 992 | 2 |
| 6 | 1 | 1 | 11 | 11 | 10 | 990 | 1 |
| 7 | 0 | 0 | 11 | 11 | 11 | 989 | 0 |
| 8 | 2 | 2 | 13 | 13 | 11 | 989 | 2 |
| 9 | 1 | 1 | 14 | 14 | 13 | 987 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 15 | 15 | 14 | 986 | 1 |

$F(t_i) \times 10^5=3$ - середній проміжок відмови.

$$\sum_{k=1}^i n_k = 3 \quad F(t_i) \times 10^3=3 \quad \sum_{k=1}^i n_k = 0 \quad N_i = 1000 \quad \lambda(t_i) \times 10^5$$

1. Частота відмови

$$F(t_i) = \frac{n_i}{N\Delta t} = \frac{3}{14 \cdot 10 \text{ год}} = 0,02143 \quad (2.60)$$

Функцію розподілу ще записують так:

$$F(t_i) = \sum_{k=1}^i F(t_k) \Delta t = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^i n_i \quad (2.61)$$

2. Визначення інтенсивності відмов.

Визначаємо інтенсивність відмов за рівнянням:

$$\lambda(t_i) = \frac{n_i}{N\Delta t} = \frac{3}{14 \cdot 10 \text{ год}} = 0,02143. \quad (2.62)$$

3. Випадок експоненціального закону.

Досліди показують для неочікуваних відмов часто справедливий експоненційний закон. В цьому випадку можливість ймовірності довго тривалості служби записують в такому вигляді:

$F(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$, де λ – постійна.

Знаходимо $t_{\text{ср}}$:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.63)$$

$$\sigma(t) = \frac{1}{\lambda} = t_{\text{ср}} \quad (2.64)$$

$$p(t) = \exp(-\lambda t) = \exp\left(-\frac{t}{t_{\text{ср}}}\right) \quad (2.65)$$

$\lambda(t) = \frac{F(t)}{p(t)} = \lambda$ - рівняння є важливою характеристикою експоненційного закону відмов і з цього можна зробити висновок, що інтенсивність відмов є величиною постійною і залежить від часу роботи елементів. Підреслимо, що як видно з рівняння $F(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$, частота відмов збільшується з часом.

Знайдемо середню частоту відмов.

$$F_{cp}(t) = \frac{1}{t}(1 - e^{-\lambda t}) \quad (2.66)$$

При малих t порівняно з t_{cp} , тобто $\lambda t \leq 1$, приблизно маємо:

$$e^{-\lambda t} \approx 1 - (-\lambda t) \quad (2.67)$$

Маємо:

$$F_{cp}(t) \approx \lambda. \quad (2.68)$$

Таким чином на початку періоду служби елементів їх середня частота відмов рівна інтенсивності відмов. При більших t це рівняння вже не має місця.

$$\lambda = 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}$$

$$t_{cp} = 10^5 \text{ год}$$

$$F(t) = 0.37 \cdot 10^{-5}$$

$$F_{cp}(t) = 0.63 \cdot 10^{-5}$$

Наступні обрахунки будемо здійснювати за допомогою основних рівняннями експоненційного закону. При цьому можливий ряд випадків організації дослідження. Пять випадків наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Таблиця випадків організації дослідження

| Номер випадку | Відбувається заміна елементів | Фіксація моменту відмови | Що планується під час дослідів | Що визначається в процесі дослідження |
|---------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | так | Так | Довготривалість дослідів | Число відмов |
| 2 | так | Так | Число відмов | Довготривалість дослідів |
| 3 | ні | Так | Досліди ведуться до відмови всіх компонентів | Сумарний наробіток компонентів |

| | | | | |
|---|----|-----|----------------------------------------|--------------------------------|
| 4 | ні | Так | Число відмов (менше числа компонентів) | Сумарний наробіток компонентів |
| 5 | ні | Ні | Довготривалість дослідів | Число відмов |

В нашому випадку ми будемо брати перший випадок, який для нас буде оптимальним, адже ми хочемо перевірити довго тривалість роботи приладу.

Вводимо деякі позначення при розрахунку випадку:

$t_{cp}^0 = \lambda^{-1}$ – невідомий середній срок служби елемента

t_{cp} – оцінка для t_{cp}^0 отримана з дослідів.

m-число відмов за час дослідів.

t_i - тривалість дослідження.

В кожному випадку, коли буде виходити з ладу елемент його будуть на робочий. Таким чином ми будемо мати потік відмов: $\Lambda = n\lambda$.

Використовуємо закон Пуассона з математичного очікування:

$$a = \lambda \cdot t_i = n\lambda t_i = \frac{nt_i}{t_{cp}^0} \quad (2.69)$$

Звідси t_{cp} знаходимо:

$$\frac{nt_i}{t_{cp}} = m, \quad \frac{3 \cdot 1830}{1000} = 5.49 \approx 6 \quad (2.70)$$

Після чого обрахуємо t_{cp} :

$$t_{cp} = \frac{nt_i}{m} = \frac{3 \cdot 10}{6} = 5. \quad (2.71)$$

Границі для величин t_{cp}^0 знаходяться з рівняння:

$$t_{cpB} = \frac{r_1 \cdot nt_i}{m} = r_1 \cdot t_{cp} = 5,43 \cdot 5 = 27,15; \quad (2.72)$$

$$t_{cpK} = \frac{r_2 \cdot nt_i}{m} = r_2 \cdot t_{cp} = 0,33 \cdot 5 = 1,65, \quad (2.73)$$

де r_1, r_2 знаходяться з таблиці П19.ст523.

$$r_1 = 5,43, r_2 = 0,33. \quad (2.74)$$

Розглянемо гарантійний срок служби:

З рівняння

$$p(t) = \exp(-\lambda t) = \exp\left(-\frac{t}{t_{cp}}\right) \quad (2.75)$$

Отримуємо:

$$\exp\left(-\frac{t_{\alpha}}{t_{cp}}\right) = \alpha \quad (2.76)$$

Вводимо коефіцієнт k_{α} :

$$t_{cp} = k_{\alpha} t_{\alpha} \quad (2.77)$$

Знаходимо t з таблиці 2.3.

Таблиця 3 Таблиця коефіцієнтів

| α | k_{α} | α | k_{α} | α | k_{α} |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| 0,995 | 200 | 0,95 | 19,6 | 0,90 | 9,5 |
| 0,99 | 100 | 0,94 | 16,1 | 0,85 | 6,2 |
| 0,98 | 50 | 0,93 | 13,7 | 0,80 | 4,5 |
| 0,97 | 33,3 | 0,92 | 12,0 | 0,70 | 2,8 |
| 0,96 | 24,4 | 0,91 | 10,6 | 0,60 | 1,96 |

Для $\alpha = 0,99$, $k_{\alpha} = 100$.

Підставимо в рівняння:

$$t_{cp} = k_{\alpha} t_{\alpha} = 100 \cdot 183 = 18300 \text{ год}, \quad (2.78)$$

де t_{α} – час гарантійної роботи.

Таким чином розрахувавши основні показники роботи здатності плати, можна сказати, що при умовах які є на виробництві, гарантійний термін роботи плата генератора може пропрацювати два роки.

2.3.5 Опис методів підвищення надійності роботи обраного технічного засобу.

Для того, щоб забезпечити надійні роботу мікротвердоміра, необхідно забезпечити надійну роботу його частин, а саме: механічної та електричної.

Якісна робота механічних компонентів приладу залежить від їх обслуговування, тобто необхідно змащувати всі деталі, які взаємодіють між собою і здатні до виробітку в місцях контактів. Компоненти системи, які здійснюють обертання таких деталей як зубчасте колесо, а це підшипники, потребують також ретельного змащування. Необхідно також враховувати температуру експлуатації, адже при невідповідних температурах експлуатації приладу, механічна частина відмовить, і буде необхідно здійснювати ремонт. Слід перевіряти перед експлуатацією приладу наявність сторонніх предметів та бруду в механічній частині приладу. Таким чином механічні деталі приладу будуть справної якісно виконувати свою роботу, що збільшить надійність системи.

Електрична частина також відіграє важливу роль в надійності роботи мікротвердоміра. Перед експлуатацією приладу потрібно перевірити стабільної подачі струму, тому що скачки напруги можуть дати додаткове навантаження на електричні елементи такі як: конденсатори та резистори, а це призведе до їх перегрівання та поломки, що виведе з ладу електричні плати [29]. Також слід дотримуватися певного відношення “робота-відпочинок” приладу. Адже надмірна робота приладу призводить до нагріву внутрішніх порожнин корпусу в яких розташовані плати, а підвищення температури на 10°C призведе до перегріву електричних компонентів та їх неправильній роботі. Також слід перевіряти роботу відчутників, попередньо перед використанням, здійснювати калібровку мікротвердоміру.

Таким чином можна забезпечити хорошу надійність і роботу здатність мікротвердоміра.

Було проаналізовано необхідність резервування окремих деталей та елементів приладу, також було розраховано ймовірності та довготривалості одного із елементів системи, а саме плату генератора за допомогою експоненціального закону, та розраховано гарантійний строк служби. Таким чином було отримано показники надійності мікротвердоміра.

Висновок до розділу II

В даному розділі було показано основні характеристики, які впливають на дослідження мікротвердості, за запропонованим методом, а саме велику роль відіграє швидкість руху індентора. Також описано алгоритм варіантів торкання відчутника з досліджуваною поверхнею, та контроль торкання індентора при здійснюванні вимірювань. Проведено розрахунки надійності системи та описано необхідність резервувати деякі із деталей приладу для збільшення його надійності.

Розділ III

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПРИЛАДУ МІКРОТВЕРДОМІРА М-20

В даному розділі описано основні характеристики та конструкторські особливості мікротвердоміра М-20. Покзано його основні компоненти та можливості системи. Проведено дослідження за допомогою даної системи, що представлено нижче.

3.1 Конструктивні особливості моделі приладу

Створено та представлено конструкцію Мікротвердоміра М20 (Рис.3.1). Даний тип конструкції є оригінальним і розроблений для використання на виробництвах медичних систем, деталей, приладів, вузлів. Особливість даної конструкції полягає в тому, що вона може використовувється безпосередньо на верстатах, на яких відбувається обробка та створення деталей, медичного використання. Сучасні мікротвердоміри не володіють такими властивостями та є окремими системами, які потребують окремий простір для устанавлення та експлуатації. Також слід зазначити, що дана модель можливо вдосконалювати іншими додатковими функціями. Такми як: вимірювання гладкості поверхні за допомогою додаткової оптичної головки (Рис.3.2).

Технічні характеристики.

Діапазон навантаження 0,0019 ... 2,5 Н.

Умови експлуатації: $-5^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$

Габаритні розміри, не більше 296 x 52 x 72 мм.

Маса, не більше 2 кг

Управління навантаженнями - автоматичне.

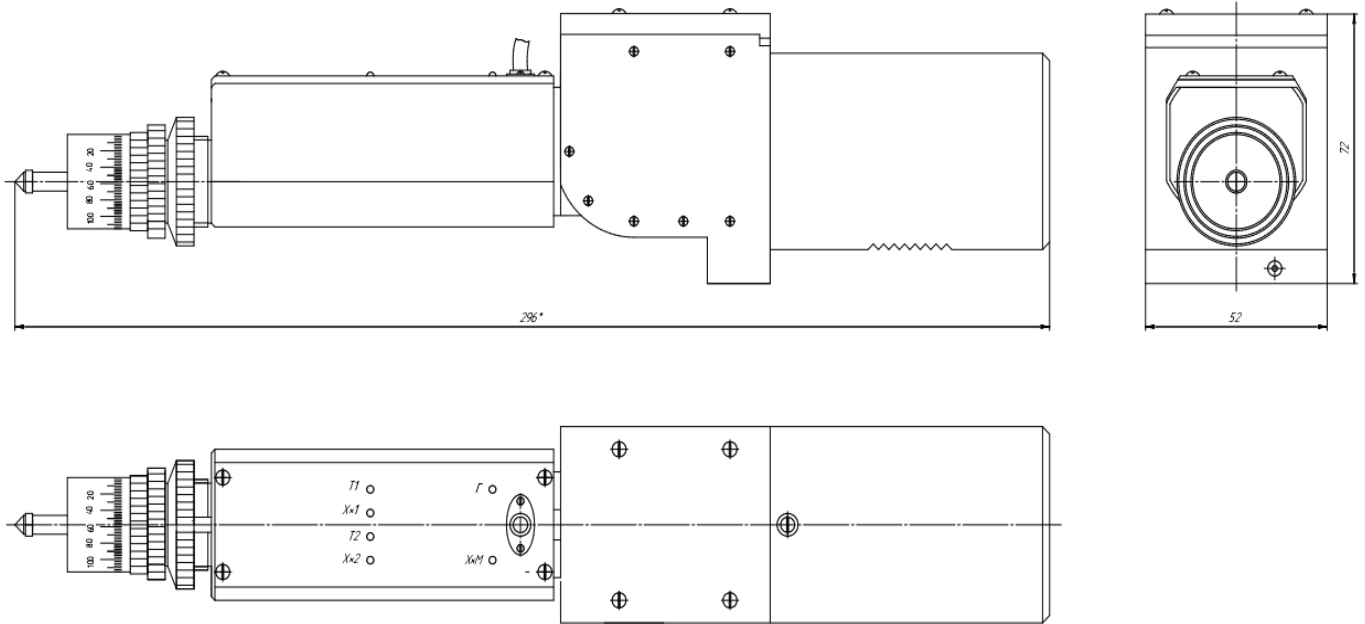
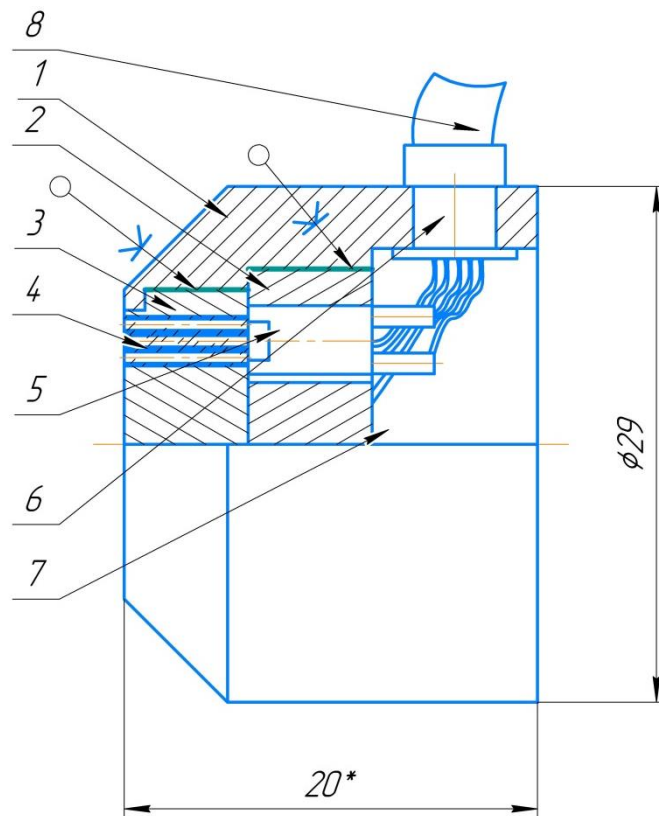


Рисунок 3.1 - Мікротвердомір М20. Загальний вигляд конструкції приладу



1 - корпус; 2 – кришка; 3 – блок світловодів;
4 – світловоди; 5 – опт опара; 6 – роз’єм; 7 – кабель; 8 – штекер.

Рисунок 3.2 - Оптична головка

Оптична головка використовується як додаткова функція, для того щоб оцінити гладкість поверхні. Вимірювання буде здійснюватись за допомогою оптичного випромінювання яке буде відбиватись від поверхні деталі та потраплятиме на приймачі. Оцінка буде здійснюватися за рахунок кількісного аналізу випромінювання, яке повернулось до приймача.

Нижче (Рис.3.3) представлено макет мікротвердоміра М-20, який створено для того, щоб дослідити роботу контрольної частини приладу та впевнитись в достовірності значень вимірювання .



Рисунок 3.3 - Макет мікротвердоміра М-20

Основні плати контролю торкання та обробки сигналів розташовані одна над одною в корпусі, який зображено на рисунку 3.4.

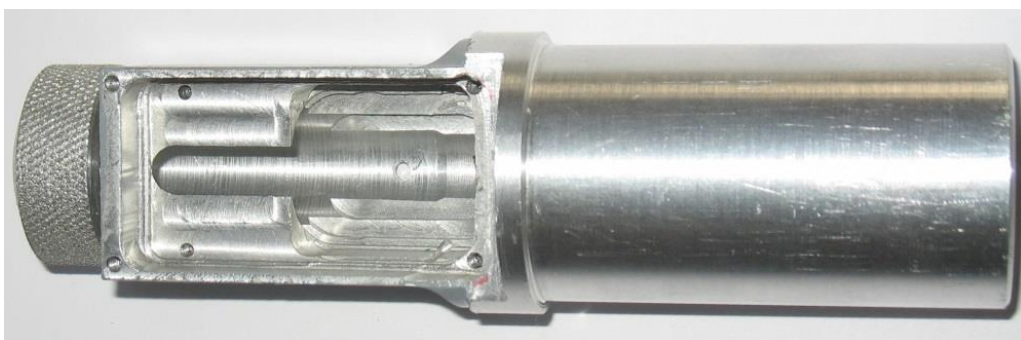


Рисунок 3.4 - Корпус мікротвердоміра

Корпус мікротвердоміра закривається кришкою (Рис. 3.5) до якої прикручений кабель та яка має отвори для діодів. Прикручується кришка до корпусу гвинтами.

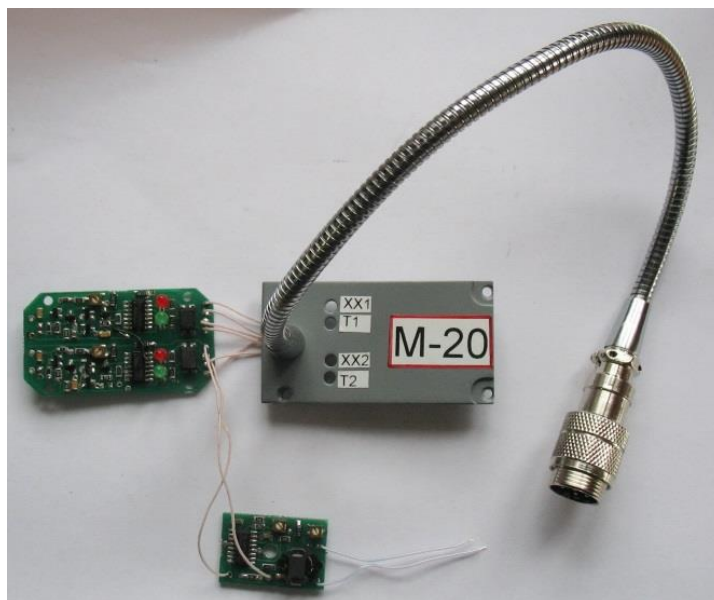
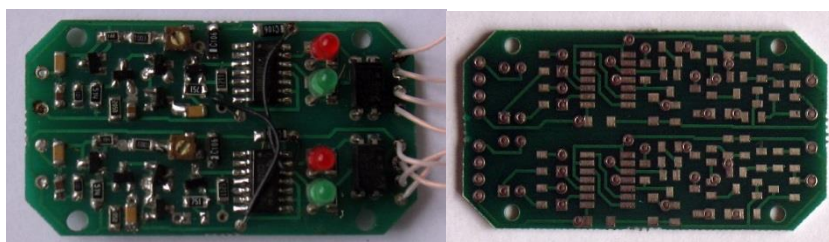
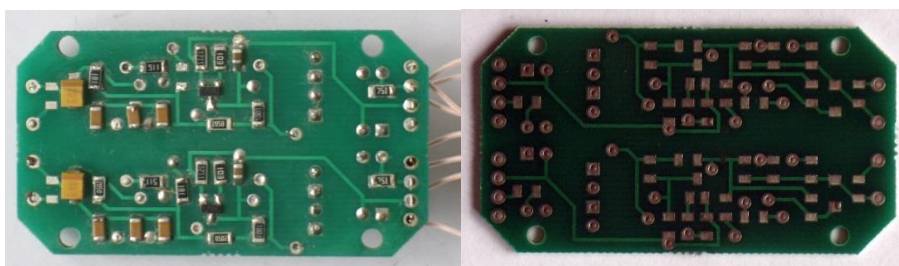


Рисунок 3.5 - Підключення плат до роз'єму кабеля

На рис. 3.6 представлено плату контролю торкання та її електричні компоненти.



а).



б).

Рисунок 3.6 - Плати контролю торкання

На рис. 3.7 представлено плату генератора та її електричні компоненти. Яка відповідає за подачу живлення на електромагнітний відчутник.

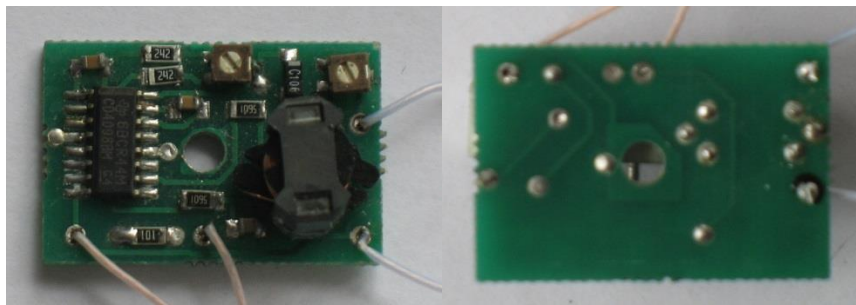


Рисунок 3.7 - Плата генератора

За контроль торкання електромагнітної головки та передачу сигналу на плати, для подальшої обробки отриманих сигналів, відповідає відчутник. (Рис. 3.8)



Рисунок 3.8 – Відчутник

3.2 Експериментальні дослідження роботи контрольно-вимірювального приладу

В ході роботи було розроблено науково-дослідний макет, для проведення досліджень і випробувань роботоздатності приладу для вимірювання мікротвердості. Експериментальні дослідження представлено в даному розділі.

3.2.1 Опис калібрувального стенду для налаштування приладу

Загальний вигляд калібрувального стенду для налаштування приладу през здійснення вимірювань мікротвердості представлено на (Рис. 3.9). Можна виділити основні елементи конструкції, такі як:

1. Стіл

- 2. Штатив
- 3. Затискач
- 4. Тримач макету
- 5. Динамометр

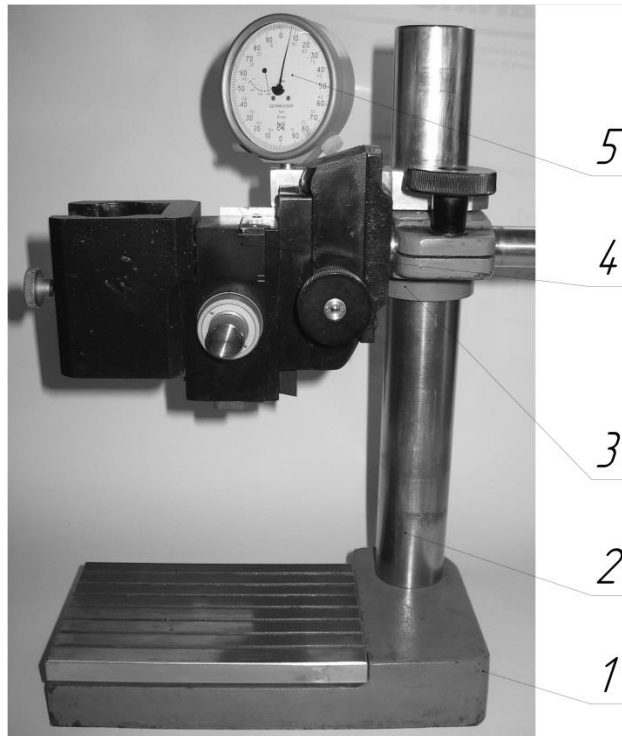
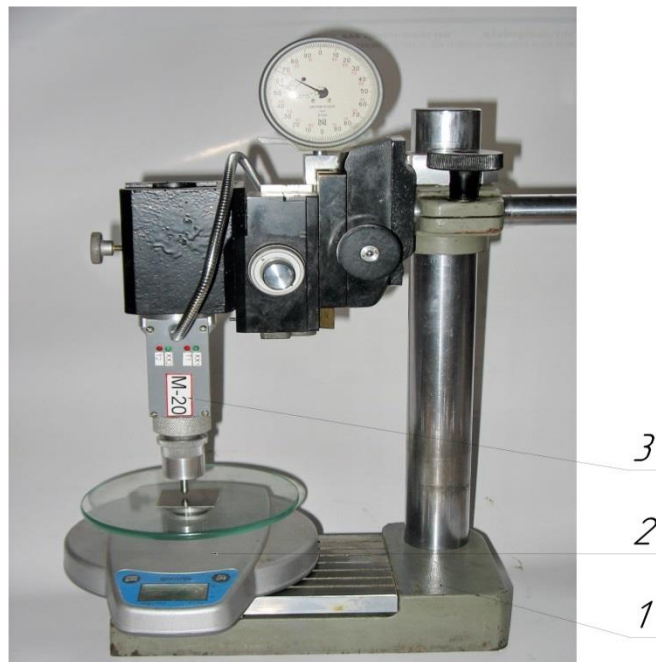


Рисунок 3.9 - Загальний вигляд калібрувального стенду

До столу (поз. 1) калібрувального стенду кріпиться штатив (поз. 2) до якого в свою чергу кріпиться за допомогою затискача (поз. 3) конструкція тримача (поз. 4), в який вставляється дослідний зразок приладу. Н рисунку 3 показано калібрувальний стенд з мікротвердоміром М-20.



1-контрольно вимірювальний стенд; 2-ваги; 3-мікротвердомір М-20.

Рисунок 3.10 - Контрольно вимірювальний стенд з мікротвердоміром М-20

Ваги використовуються для того, щоб при калібруванні мікротвердоміра, контролювати вагу, яку створює індентор на дослідний зразок. Загальний вигляд ваг зображено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 - Ваги

Калібрувальний стенд необхідний для того, щоб здійснити калібрування приладу, та виведення індентора в межі чутливості [38]. Таким чином в подальшому можна здійснювати дослідження з вимірювань мікротвердості матеріалів даною системою.

3.2.2 Методика вимірювання параметрів мікротвердості матеріалу

Мікротвердість є досить важливою характеристикою матеріалу [34], що дає змогу максимально якісно оцінити зміни в механічних властивостях при обробці матеріалу. Це дуже важливо складова контролю, якщо йдеться про матеріали, які застосовуються у медицині і у медичних приладах.

Завдання, що стоїть сьогодні, це створення ефективного методу вимірювання мікротвердості. Під методом, розуміється сукупність прийомів (операцій) практичного або теоретичного засвоєння дійсності, що підпорядковуються вирішенню конкретної задачі [38]. Це дозволить не тільки швидко отримати результати вимірювання, а також зменшити кількість технологічних процесів [39], що необхідні при здійсненні підготовки приладу до роботи та його калібрування.

Значення для того, щоб оцінити чи виміри, отримані при досліді, є достовірними, використовують таблицю середньостатистичні значення твердості різних матеріалів та топів незалежно від їхнього технологічного стану обробки (ДСТУ ISO 6507-2007) (Рис. 3.12) (Таблиця 3.1). Суть створеного методу калібрування мікротвердості описано нижче.

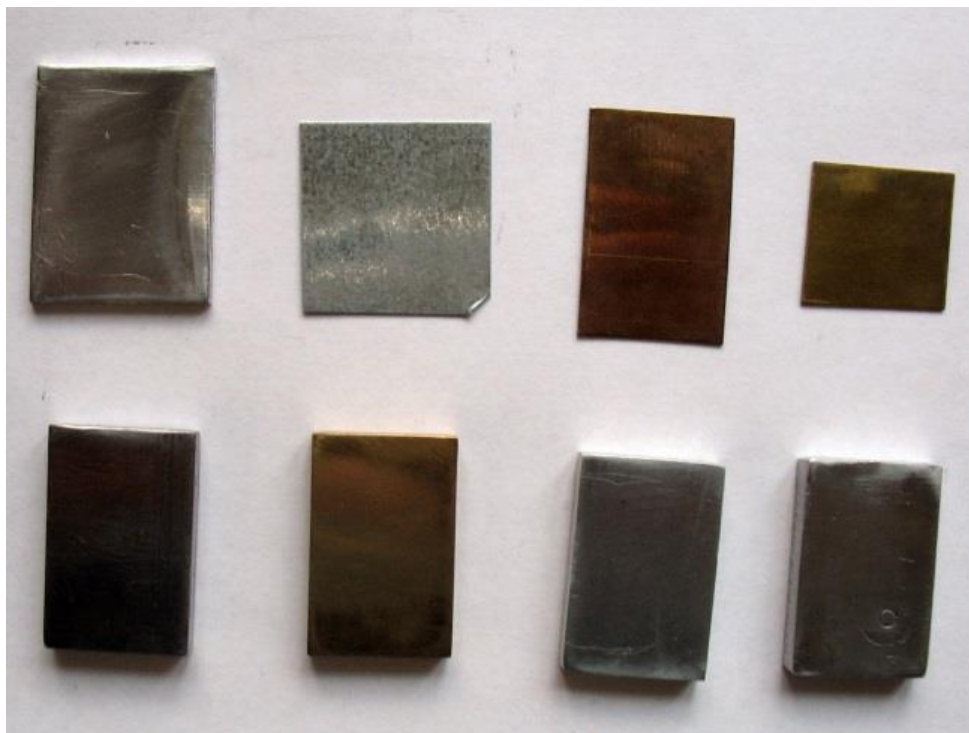


Рисунок 3.12- Зразки металів для проведення калібрування

Таблиця 3.1. Середньостатистичні значення твердості різних матеріалів та топів незалежно від їхнього технологічного стану обробки (ДСТУ ISO 6507-2007)

| Марка металу | Твердість, НВ |
|--------------|-----------------|
| Ст45 | 170 МПа – норм. |
| Ал1 | 85-90 МПа |
| ЛС59-1 | 150-160 МПа |
| Д16 | 42 МПа |
| М1 | 45 МПа |
| Ц1 | 30-40 МПа |
| БрБ2 | 130-150 МПа |
| АЛ6 | 45 МПа |

Оскільки стрілочний індикатор має зону нечутливості, то потрібно провести попереднє калібрування для того, щоб визначити зони нечутливості. При цьому необхідно визначитися із величиною зсуву столика мікродинамометра, спричиненою дією індентора на нього[42].

Для цього вмикають всі прилади так, як це проводилося за налагодженням радіоелектронної частини [31]. Із столика динамометра прибирають калібрувальний зразок та вмикають мікродинамометр.

Після того, як динамометр покаже нулі, індентор поступово опускають до появи сигналу “торкання” на столику. Перевіряють ще раз момент “торкання” до столика. При цьому повинна спрацювати індикація АМТ та М30ST-2. Величина тиску при цьому не повинна перевищувати 0,01 г [43]. Тими ж мікрометричними гвинтами переміщують індекатор, поступово збільшуючи тиск до моменту поки він не досягне наперед визначеної величини, наприклад 100 г, та фіксують показання стрілки індикатора. Після цього тиску збільшують до стандартної величини 500 г чи 1000 г, фіксуючи спрацювання відчутника тиску за приладами.

Подальше налагодження полягає в постановці калібрувальної пластинки і порівняння показань приладів. Точне налагодження на величину тиску відбувається регулюванням стискання пружини індентора за допомогою головки.

Отже, таким чином отримується специфічна характеристика тиску, яка відображена на Рис.3.13, за якою визначається робочий діапазон приладу.

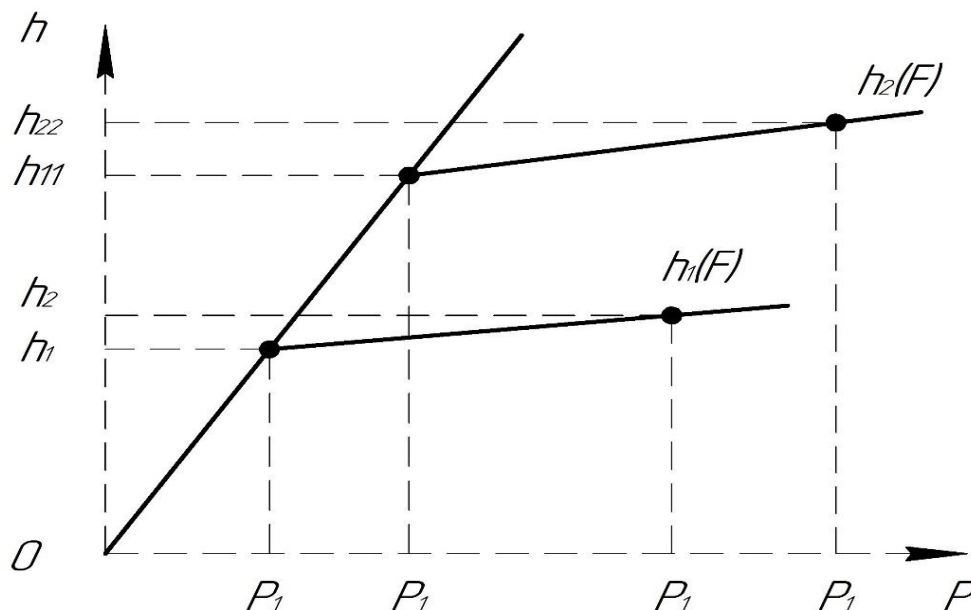


Рисунок 3.13 - Характеристика потужності тиску індентора залежно від величини його переміщення

За даним методом проведено дослідження в лабораторних умовах, для підтвердження достовірності та ефективності методу. Дані досліджень отримані під час тестування приладу наведено нижче в розділах.

Слід також зазначити, що при дослідженнях використовувались частини медичних приладів, а саме: втулка мембрани насоса для промивки голки, що застосовується в “Автоматичному біохімічному аналізаторі А25” (рис.3.14).



Рисунок 3.14 - Мембрана біохімічного аналізатора

Дослідження проводились також з деталями мікроскопів які використовуються в медичних лабораторіях, деталі об'єктиву з які використовувались в досліді наведено на рис. 3.15.

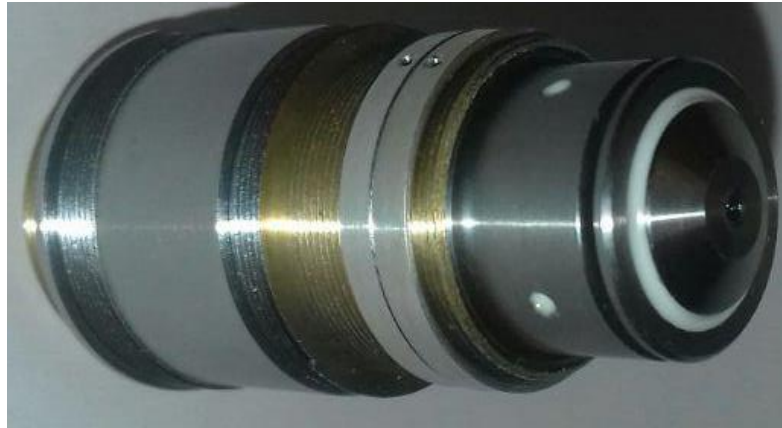


Рисунок 3.15 - Об'єктив мікроскопа

3.2.3 Результати експериментальних досліджень роботи створеного приладу

Згідно із розробленою методикою було виконано низку експериментальних дослідів), результатами яких представлено в табл. 3.2, який надає можливість довести вірність запропонованої математичної тези [32] щодо вимірювання твердості.

Наразі, для прикладу, наведено два варіанти ($h_1(F)$, $h_2(F)$) можливих характеристик роботи індентора. Механічна система приладу дозволяє перелаштовуватись в досить широких межах від h_1 до h_2 та більше. Але основна перевага полягає в тому, що подібна характеристика підтверджує теоретичні засади. В такому разі позиції h_1 і h_2 на графіку відповідають величині τ , а h_{11} і h_{22} величині α , якщо їх перевести через відповідні коефіцієнти: 0,98Н (100 гс); 4,905Н (500 гс).

Таблиця 3.2 Експериментальні результати вимірювання мікротвердості матеріалів

| Марка металу | Глибина, мкм /діагональ відбитку при навантаженні 0,981 Н | Глибина, мкм /діагональ відбитку при навантаженні 4,905 Н | Експериментальні значення твердості, отримані при навантаженні 0,981 Н | Експериментальні значення твердості, отримані при навантаженні 4,905Н | Експериментальні значення твердості, HRV |
|--------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| АЛ1 | 6,5/40 | 13/91 | 116 | 112 | 114 |
| ЛС-59 | 6/39 | 11,5/80 | 122 | 145 | 133,5 |
| Ст45 | 6/40 | 12/82 | 116 | 138 | 127 |

| | | | | | |
|-----|-------|--------|----|----|------|
| Д16 | 9/62 | 20/140 | 48 | 47 | 47,5 |
| М1 | 9/60 | 22/150 | 61 | 41 | 51 |
| Ц1 | 10/66 | 22/150 | 61 | 41 | 51 |

Результат проведених вимірювань також показано у графічному вигляді (Рис. 3.16).

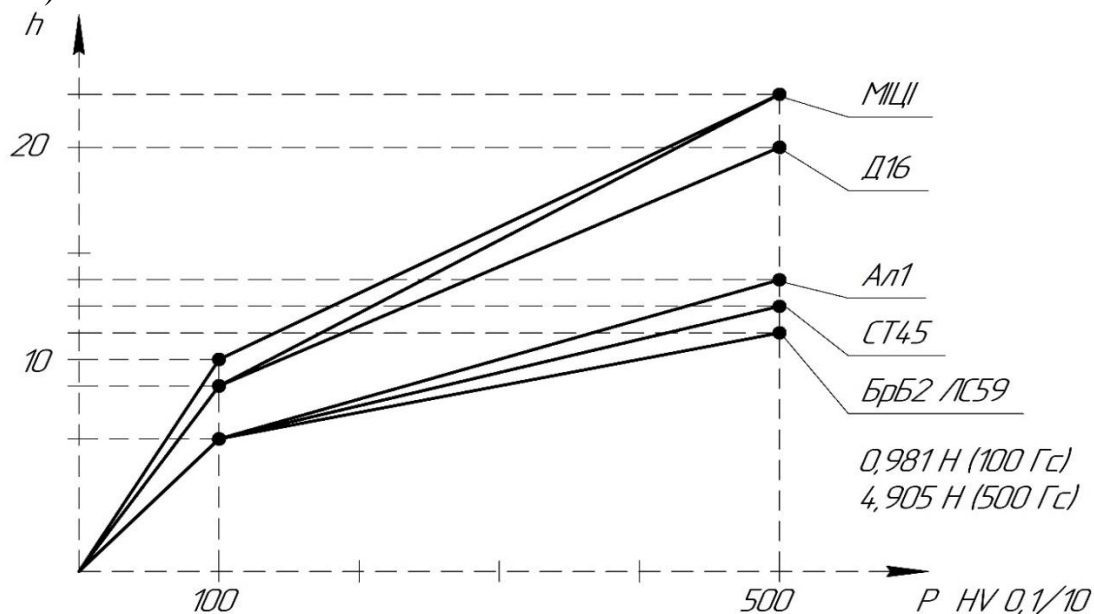


Рисунок 3.16 - Результати вимірювань.

Використання цієї методики надає можливості зменшити похибки вимірювання, а також запобігти появі неоднорідного матеріалу при виготовленні точних деталей.

3.3 Перевірка адекватності теоретичних моделей до реального виробництва

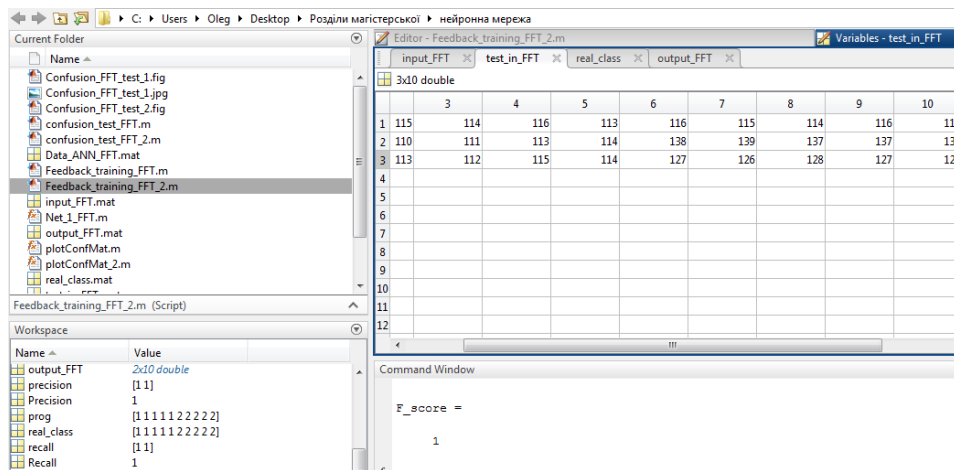
В даному підрозділі буде описано перевірку адекватності теоретичних значень мікротвердості матеріалів та реальних значень, які було отримано за допомогою мікротвердоміра М-20.

Для того, щоб провести оцінку адекватності і достовірності значень, необхідно вибрати програму в якій буде здійснюватись моделювання та перевірка. В нашому випадку використовується програмне забезпечення Matlab.

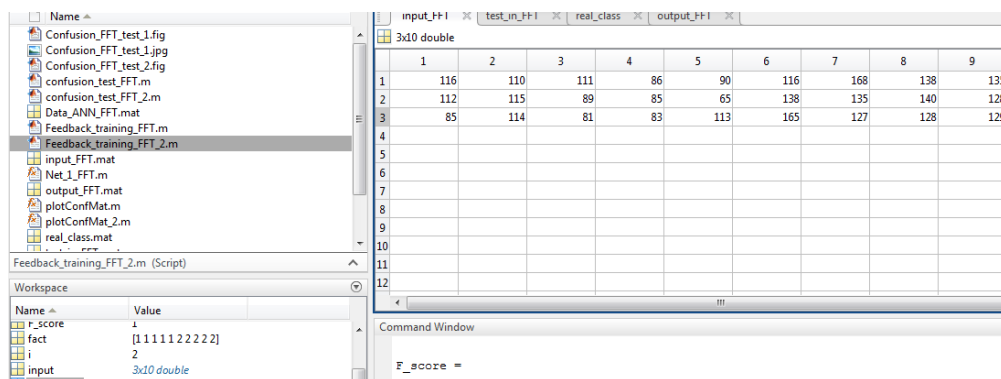
Моделювання мережі буде здійснюватись за рахунок стандартних модулів для тренування нейронної мережі, які є в програмі Matlab.

Слід зазначити, при порівнянні було використано стандартні значення твердості та значення отримані при дослідженнях. Для здійснення моделювання було взято значення отримані при дослідах таких металів: Ст45, Ал1; та порівняно їх із стандартними значеннями.

Для початку, в робочому вікні середовища Matlab оберемо робочу папку, у яку будемо записувати робочі файли і створюємо файл, в якому розміщуємо нормалізовані значення вхідних та тестуючих даних (Рис.3.17).



а).



б).

Рисунок 3.17 - Значення даних:

а). значення вхідних даних; б). значення тестуючих даних

У робочому вікні «Workspace», створюємо новий файл із назвою «output_FFT», у якому будуть розміщуватись вихідні дані (завчасно відомий набір відповідей), необхідні для тренування нейронної мережі. В створеному файлі «output_FFT» розміщуємо сет із бінарних (0 та 1) чисел, що вказують на

відповідність характеристик із файлу «input_FFT» до однієї з двох категорій («Сигнал №1» чи «Сигнал №2») на кожній ітерації (Рис. 3.18).

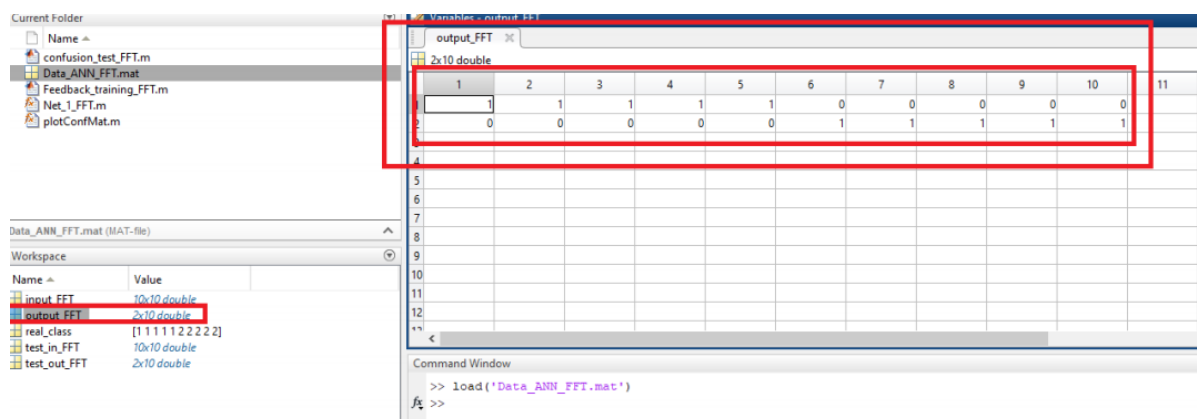


Рисунок 3.18 - Вихідні дані

Дальше створюємо новий файл із назвою «real_class», у якому буде розміщуватись реальний перелік можливих класів для кожної ітерації (Рис. 3.19).

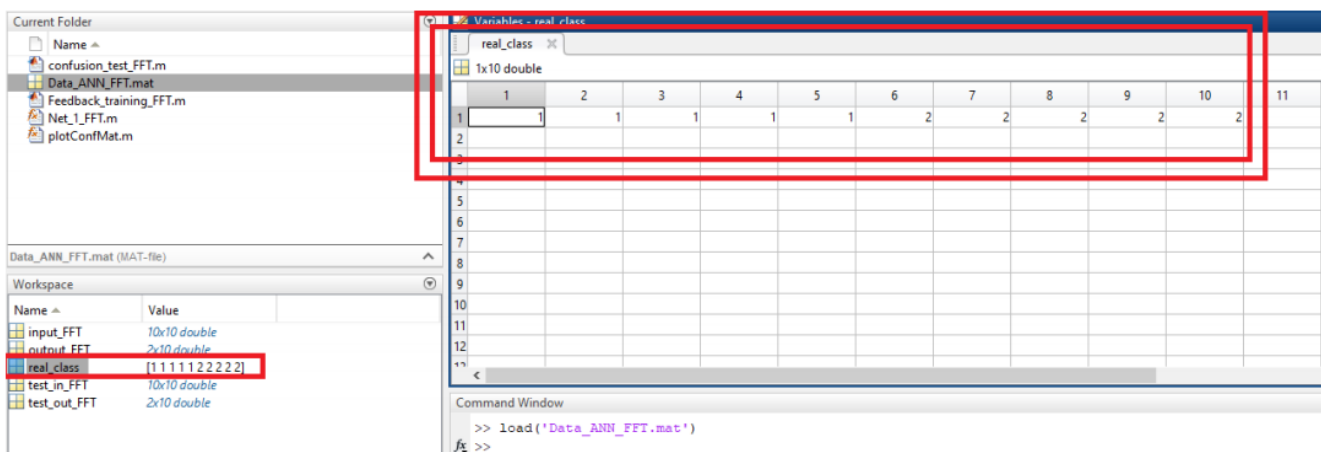


Рисунок 3.19 - Класи значень

Після введення всіх необхідних даних переходимо до створення скрипту та прописуємо в ньому робочий код, що задаватиме алгоритм нейронної мережі (Рис.3.20) (повний код програми наведено в додатках).

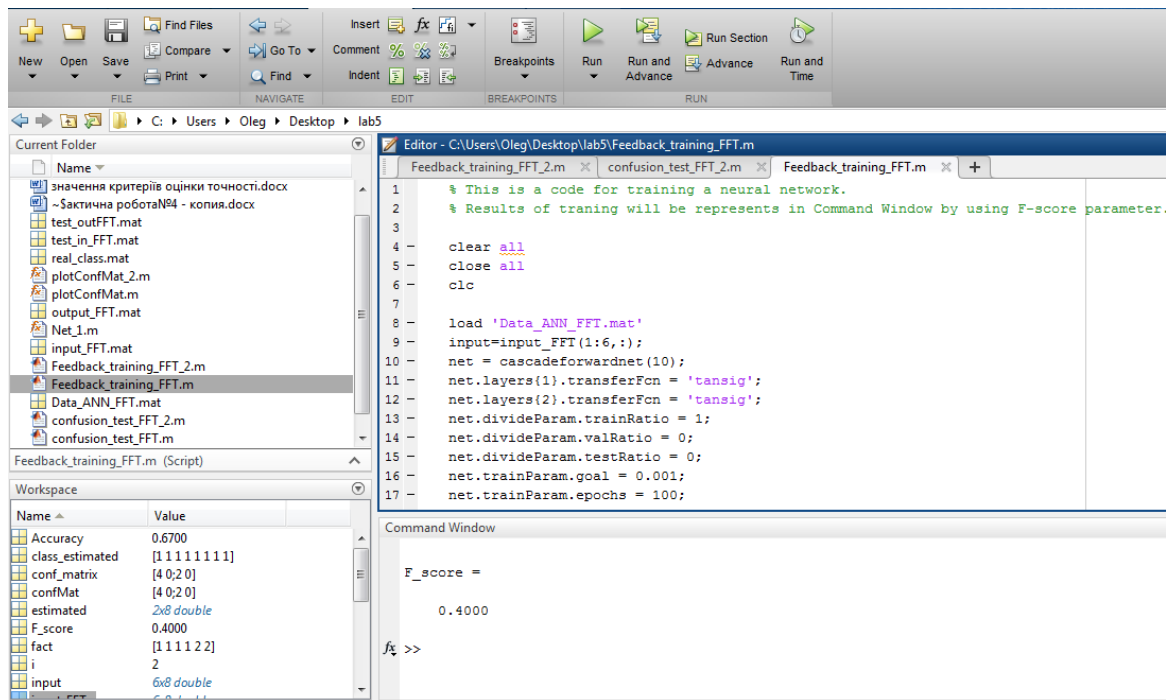


Рис. 3.20 Робочий код для сигналів

Дальше запускаємо програму для виконання та створення тренувального вікна (Рис. 3.21).

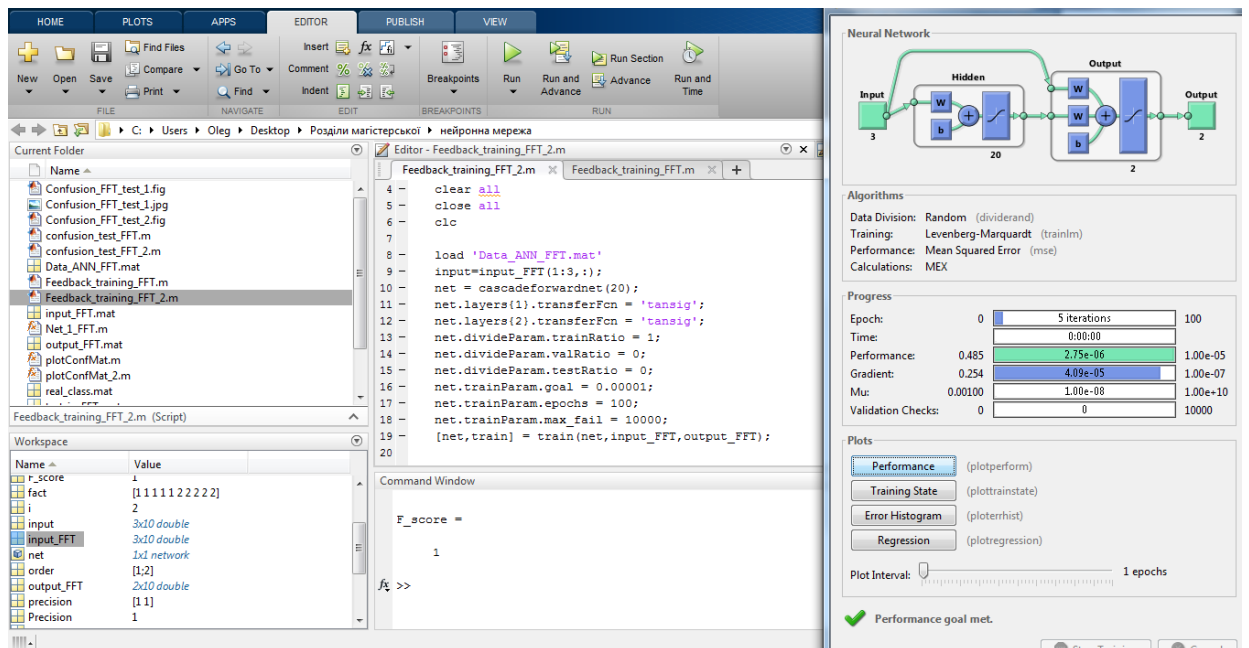


Рисунок 3.21 - Тренувальне вікно програмного коду

В кінцевому результаті отримуємо візуалізацію «матриці помилок» і розрахунок чотирьох критеріїв оцінки точності класифікації, які визначені під час тестування мережі: precision, recall, f-score та accuracy (Рис. 3.22).

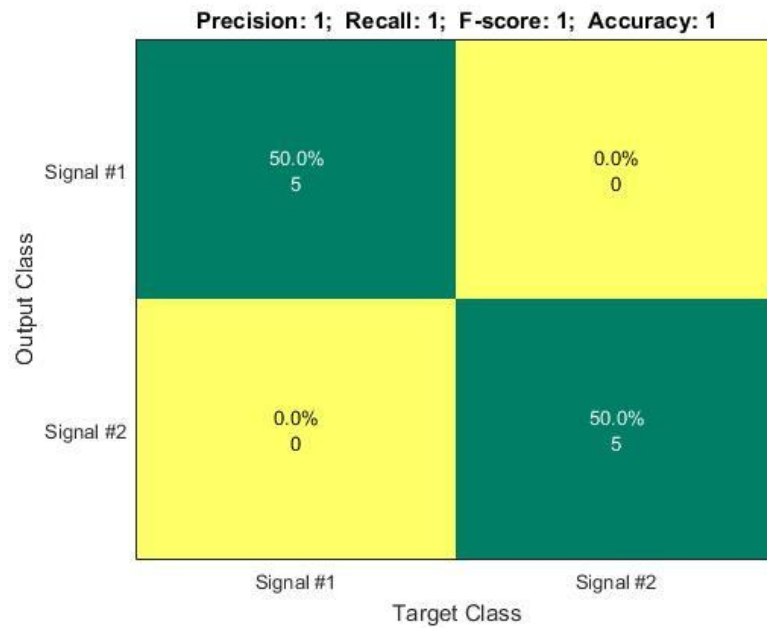


Рисунок 3.22 - Матриця похибок

Проаналізувавши дані значення досліджу, можна сказати, що практичні значення є в межах теоретичних. Таким чином робимо висновок, що дана система для вимірювання мікротвердості дає адекватні значення.

Висновок до розділу III

В даному розділі було представлено конструкторські особливості приладу. Методику вимірювання мікротвердості за допомогою розробленого мікротвердоміра М-20. Проведено дослідження за допомогою розробленої системи та представлено результати досліджу у вигляді таблиць та графіків. Створено програму та на базі отриманих результатів було проведено моделювання нейронної мережі для встановлення достовірності отриманих, в результаті вимірювань, даних. Таким чином можна сказати. Що отримані результати вимірювань є достовірними, а даний мікротвердомір при дослідженні показує гарну точність і достовірність даних.

РОЗДІЛ IV

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ: «КОНТРОЛЬНО ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ТВЕРДОСТІ КОМПОНЕНТІВ МЕДИЧНИХ ПРИЛАДІВ».

4.1. Опис ідеї проекту

Мета даного розділу полягає в тому, щоб провести маркетинговий аналіз стартапу. Таким чином можна проаналізувати можливість впровадження даного продукту на ринок збуту, та визначити напрямки його реалізації.

Суть проекту полягає в створенні нової моделі приладу та методу для контролю мікротвердості матеріалів, що застосовуються в медицині та медичних приладах.

Нижче наведено основну інформацію про проект.

Назва проект: Контрольно вимірювальна система для випробувань твердості компонентів медичних приладів.

Автори проекту: Ключко Т. Р., Скицюк В. І., Булик М. О.

Коротка анотація

Контрольно вимірювальна система для випробувань твердості компонентів медичних приладів, застосовується для контролю якості виготовлених компонентів медичних приладів та протезів, а саме їх мікротвердості. Вимірювання мікротвердості, є одним із головних показників якості і надійності матеріалів з яких складається медичні прилади чи протез. Для дослідження мікротвердості застосовують різні прилади, для яких потрібне окреме місце, а інколи і приміщення, щоб здійснити належні перевірки на якість матеріалу. А також потрібно знімати оброблені зразки з верстатів та попередньо закріплювати їх на приладах контролю, що збільшує кількість операцій і зменшує продуктивність роботи. В порівнянні зі звичайними приладами контролю твердості матеріалів даний мікротвердомір буде кріпитися безпосередньо на верстат і буде здійснювати контроль не знімаючи оброблюваний матеріаль з верстату, що зменшить кількість операцій, та зробить процес обробки більш ефективним і якіснішим.

Термін реалізації проекту: 16 місяців

Необхідні ресурси:

- Ідея (напрямок роботи, постановка задачі, уявленні про систему);
- Науково-інформаційні ресурси (доступ до електронних джерел, доступ до книжкових джерел);
- Витрати на собівартість приладу (матеріали для виготовлення корпусу та окремих деталей (100грн), калібри-відчутники(134грн), приймачі (30грн), передавачі (45грн), друковані плати(263грн), компоненти плати(350грн), мікроконтролери (300грн), блок живлення(210грн), дріт(50грн), світло діоди(40грн), припій(20грн), клей(68грн));
- Персональний комп'ютер;
- Програмне забезпечення;
- Електроенергія;
- Робоче приміщення (кімната, освітлення, стіл, стілець).

Головні цілі та завдання проекту

Система, з такими характеристиками:

1. Ефективний метод контролю;
2. Простота у використанні;
3. Надійність приладу;
4. Доступна вартість приладу.

Очікувані результати

В результаті реалізації проекту, буде отримано:

1. Якісну та надійну систему з вдосконаленим методом контролю якості медичних компонентів;
2. Хорошу точність при здійсненні вимірювань;
3. Переносний та малогабаритний прилад;

Дана система буде використовуватись на виробництві з виготовлення деталей для медичних систем і приладів. Особливістю приладу є те, що вона може кріпитись безпосередньо на верстаті для обробки матеріалів, а це в свою чергу зменшує кількість технологічних процесів на виробництві. Адже контроль якості можна виконувати не знімаючи оброблюваний матеріал з верстату.

В таблицях нижче показано розподіл відповідальності та завдань між партнерами, які займатимуться створенням системи та методу.

Таблиця 4.1 показує людей які задіяні в проекті та їх завдання.

Таблиця 4.1 Посади та розподіл завдань

| | | |
|---------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Інженер-електрик | Генератор ідей | <ol style="list-style-type: none">1. Розробка методу вимірювання2. Розробка електричної схеми та друкованих плат.3. Складання електричних плат та ефективне розміщення компонентів на платі.4. Контроль складу електричних елементів |
| Інженер-конструктор | Виконавець | <ol style="list-style-type: none">5. Розробка технічного завдання6. Креслення деталей7. Оформлення технічної документації8. Виготовлення деталей |

| | | |
|----------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 9. Складання приладу 10. Контроль елементів приладу |
| ІТ- спеціаліст | Спеціаліст | 11. Розробка програмного забезпечення 12. Сервісне забезпечення 13. Тестування програмного забезпечення та виявлення несправностей. |
| Менеджер | Дипломат | 14. Розробка бізнес плану 15. Пошук ринку 16. Пошук інвесторів |

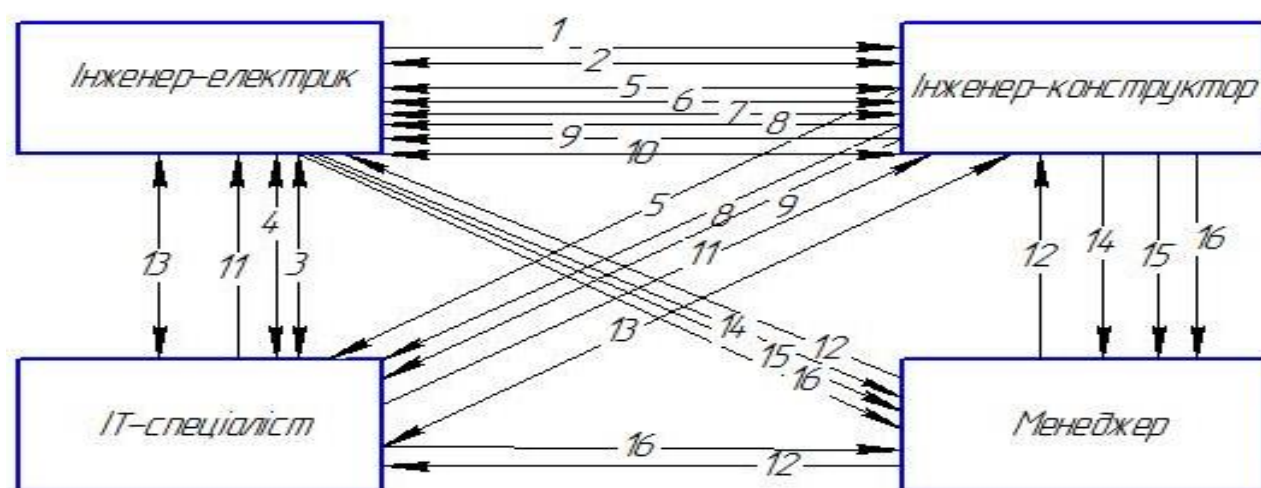


Рис. 4.1 Схема взаємодії між партнерами

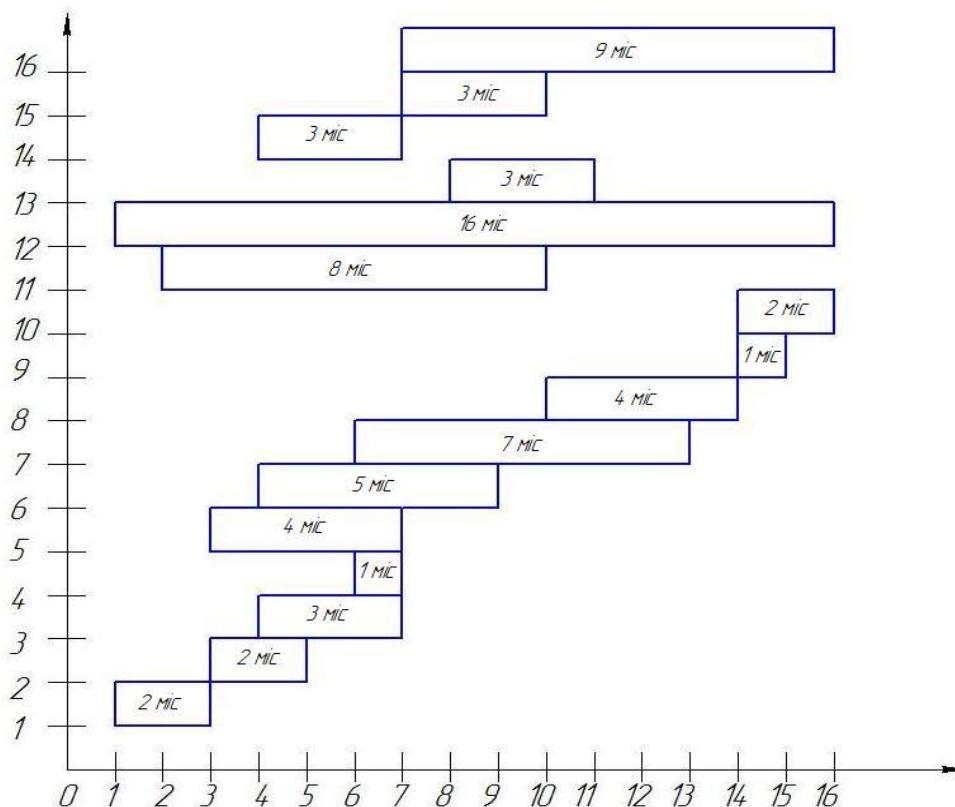


Рис. 4.2 Графік часового розподілу між партнерами та завданнями

Фактори та важливість їх в створенні стартапу наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Визначення важливості факторів щодо їх вкладу у створення та реалізацію стартапу

| Фактор | Вага (важливість) |
|-------------------------|-------------------|
| Ідея | 7 |
| Підготовка бізнес плану | 8 |
| Компетентність | 7 |
| Залученість і ризики | 5 |
| Обов'язки | 6 |

Оцінка внеску партнерів у створенні проекту наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Оцінювання особистого внеску кожного партнера у створення та реалізацію стартапу

| Фактор | Інженер-електрик | Інженер-конструктор | ІТ-спеціаліст | Менеджер |
|--------|------------------|---------------------|---------------|----------|
| Ідея | 10 | 8 | 7 | 0 |

| | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|
| Підготовка бізнес плану | 8 | 7 | 5 | 0 |
| Компетентність | 7 | 7 | 6 | 4 |
| Залученість і ризики | 5 | 4 | 4 | 3 |
| Обов'язки | 9 | 8 | 7 | 7 |

В таблиці 4.4 наведено у відсотках дольову частку у стартапі кожного учасника.

Таблиця 4.4 Визначення дольової участі у стартап проєкті кожного учасника

| Фактор | Інженер-електрик | Інженер-конструктор | ІТ-спеціаліст | Менеджер | |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------|--------|
| Ідея | 10 | 8 | 7 | 0 | |
| Підготовка бізнес плану | 8 | 7 | 5 | 8 | |
| Компетентність | 7 | 7 | 6 | 4 | |
| Залученість і ризики | 5 | 4 | 4 | 3 | |
| Обов'язки | 9 | 8 | 7 | 7 | |
| Разом | 262 | 229 | 193 | 149 | 833 |
| Процент | 31,46% | 27,49% | 23,17% | 17,88% | 100,0% |

Таким чином можна побачити та оцінити роботу та участь кожного з учасників проєкту.

4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

В даному підрозділі проводиться розгляд технологій, за допомогою якої реалізується даний стартап-проєкт (таб.4.5).

Таблиця 1.5 Технологічний аудит ідеї

| № п/п | Ідея проєкту | Технології реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|--------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | | | | |

| | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|----------|
| 1 | Розроблення системи вимірювання мікротвердості | Виготовлення на замовлення підприємств | Наявна | Доступна |
| 2 | | Самостійне виготовлення | Наявна | Доступна |
| В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення окремих компонентів і виготовлення окремих деталей самотійно та збірка системи власноруч. | | | | |

Даний продукт можна виготовити шляхом власного виготовлення і закупівлі окремих елементів.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному підрозділ описується можливості на ринку, які можна застосувати для виведення продукту на ринок, і загрози на ринку, що моглиб загрожувати даному проекту. Такий аналіз дасть можливість враховувати середовище ринку збуту, потреби клієнтів і конкурентоспроможність.

Складено календарний план-графік реалізації проекту за формою, наведеною в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 Календарний план-графік реалізації стартап-проекту

| № з/п | Етапи реалізації | Період реалізації проекту | | | | | | |
|-------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0-й рік | | | | 1-й рік | 2-й рік | 3-й рік |
| | | 1-й кв. | 2-й кв. | 3-й кв. | 4-й кв. | | | |
| 1. | Проведення НДДКР | + | + | + | + | + | + | |
| 2. | Розробка проектних матеріалів і ТЕО | + | + | + | + | + | + | |
| 3. | Робоче проектування і прив'язка проекту | + | + | + | + | + | | |
| 4. | Створення компанії | | | + | + | | | |
| 5. | Придбання нематеріальних активів, отримання дозвільних документів тощо | | | + | + | | | |
| 6. | придбання й оренда земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд | | | | | + | | |
| 7. | Придбання обладнання, устаткування та пристроїв | | | | | + | | |
| 8. | Передвиробничі маркетингові дослідження | | + | + | + | | | |
| 9. | Приймально-здавальні випробування | | + | + | + | | | |
| 10. | Пусконаладжувальні роботи | | + | + | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 11. | Освоєння проектних потужностей | | | | + | + | | |
| 13. | Придбання матеріальних ресурсів | + | + | + | + | + | + | + |
| 13. | Запуск виробництва | | | | | + | + | |
| 14. | Продаж продукції | | | | | + | + | + |

В таблиці 4.7 проведено аналіз попиту.

Таблиця 2.7 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Кількість головних гравців, од | <u>Affri (Italy)</u> , NOVOTEST |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 800000 грн/ум. од. 15000 грн/ ум. од. |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Робота в різних типах зразків, та необхідний рівень сертифікації і патентування. |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Сертифікація оцінки якості, надійності, енергоспоживання, наявності забруднювальних елементів середовища |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | 25% |

За допомогою аналізу можна сказати, що ринок зростає і попит на дані продукцію, у сфері медичних приладів, зростатиме.

В таблиці 4.8 наведено потенціальних клієнтів стартап- проекту.

Таблиця 4.8 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № п/п | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів | Вимоги споживачів до товару |
|-------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Робота на верстатах з системою CNC | Компанії та підприємства які розробляють медичні прилади або їх компоненти на верстатному обладнанні | Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах. | - до продукції: якість, надійність, ціна, ефективність - до компанії-постачальника: надання якісної продукції та сервісу, гарантійна якість продукту |
| 2. | Вимірювання мікротвердості зразків різної якості | Науково-дослідні установи | Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – | - до продукції: якість, надійність, ціна, ефективність |

| | | | | |
|--|---------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | та типу | | якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах, переносимість, простота, надійність | - до компанії-постачальника: надання якісної продукції та сервісу, гарантійна якість продукту |
|--|---------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|

В даній таблиці потенціальних клієнтів та їхні ключові вимоги. Після визначення потенціальних клієнтів слід звернути увагу та проаналізувати можливі фактори загроз (Таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 Фактори загроз

| № п/п | Фактор | Зміст загрози | Можлива реакція компанії |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Зменшенні використання верстатних установок | Зменшення користувачів верстатного обладнання і використання інших методів виготовлення деталей певного типу, призведе до зменшення попиту на такий тип мікротвердомірів | Пристосування подальших моделей мікротвердомірів до інших типів виготовлення деталей |
| 2 | Використання моделей інших компаній які мають більшу кількість функцій та операцій при вимірюванні | Користувачі будуть націлені на той товар який даватиме можливість ширше оцінити якість матеріалу | Збільшення різноманітності насадок збільшать спектр застосування приладу і тим самим зацікавлять споживача |

Окрім загроз також слід звернути увагу на фактори можливостей (Таблиця 4.10)

Таблиця 4.10 Фактори можливостей

| № п/п | Фактор | Зміст можливості | Можлива реакція компанії |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Поява нової компанії з виробництва мікротвердомірів | Не зацікавленість компаній в закупівлі нових приладів з контролю мікротвердості, у нової компанії, яка вийшла на ринок | Можливість тестового варіанту. Тобто підприємство може придбати декілька приладів та самостійно протестувати їх на своїх верстатах (термін два місяці). Після чого купити або повернути мікротвердомір. |
| 2 | Неможливість реалізувати свій продукт на ринку | Велика конкурентність з боку інших компаній, що не дозволить молодій компанії розвиватись | Злиття з іншою компанією виробником подібної продукції, але на умовах окремого відділу, що спеціалізуватиметься на приладах певного типу. |

4.4. Аналіз пропозицій ринку

Щоб створити конкуренцію на ринку необхідно проаналізувати конкуренцію на ринку в даній сфері торгівлі (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною) |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Монopolна конкурентність | Подібна продукція різних компаній, що орієнтована на певну частину ринку | Пропонування тестових варіантів приладів, безплатне встановлення продукту, навчання персоналу працювати на даному приладі, розрахунок виробництва на технологічність із даним приладом, знижки, спеціальні пропозиції, прямі домовленості з компаніями стосовно покупки продукту |
| 2. Національний рівень | Можливість компанії швидко розвиватися в межах національного ринку, та мати можливість конкурувати з зарубіжними компаніями | Відповідати умовам якісної та надійної продукції, яка має не завищену ціну |
| 3. Внутрішньогалузева конкуренція | Створення продукту схожого до продуктів інших компаній але з деякими відмінностями | Компанія буде виготовляти продукцію яка буде відрізнятися методом вимірювання та спеціальними пристосуваннями для кріплення її на верстатні установки |
| 4. Товарно-видова конкуренція | Конкуренція компанії з іншими підприємствами, які спеціалізуються на виготовленні приладів такого ж напрямку | При представленні продукту, порівняти його з приладами компанії-конкурента і вказати на переваги свого продукту |
| 5. Цінова перевага | Перевага продукції ціні | Представлення нового методу вимірювання та вказати на невелику ціну (порівняно з продуктами |

| | | |
|----------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | інших компаній) продукції |
| 6. Марочна продукція | Виробництва продукту під власною маркою та логотипом | Розробка логотипу та марки, яка б відповідала спеціалізації компанії, та показувала б на чому спеціалізується компанія |

Аналізуючи всі дані можна сказати даний продукт здатний створити хорошу конкурентну ситуацію на ринку та зайняти хорошу позицію.

В таблиці 4.12 також наведено аналіз в галузі за П. Портером. Це більш детальний аналіз.

Таблиця 4.12 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| | Прямі конкуренти в галузі | Потенційні конкуренти | Постачальники | Клієнти | Товари-замінники |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Складові аналізу | <u>Affri (Italy)</u> , NOVOTEST | <u>Affri (Italy)</u> | Компанії приладів контролю | Забезпечення технологічності та контролю виробництва | Ціна, схожі типи конструкцій, якість, інші методи вимірювання |
| Висновки: | Велика кількість продукції на ринку, що спричиняє важкість на перших етапах молодих компаній реалізувати свою продукцію | Компанія довго на ринку та має значну довіру в клієнтів, тим самим добре закріпила свої позиції сильного та надійного виробника | Сертифікованість продукції, відсоток від виробленого та проданого товару | Якісна оцінка 97ікротвердомір, ефективна робота на виробництві, довготривала робота мікротврдоміра | Робота лише з верстатними установками |

Як висновок, можна сказати що потрібно впроваджувати продукт який відповідатиме якості та ціновій політиці ринку, для того щоб отримати свою частку ринку.

4.5. Фактори конкурентоспроможності

В даному підрозділі представлено обґрунтування факторів конкурентоспроможності (табл.4.13).

Таблиця 4.13 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим) |
|-------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Новий метод вимірювання | Новий метод дає точну та якісну оцінку матеріалу за короткий час |
| 2 | Можливість працювати з системами CNC | Пристосованість приладу до верстатного програмного забезпечення |
| 3 | Кріплення на верстатне обладнання | Спеціальне кріплення дозволяє легко встановлювати та знімати прилад, а також дозволяє якісніше налаштовувати та калібрувати його |

Даний аналіз показує основні фактори конкурентоспроможності даного проекту.

4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін проекту (табл. 4.14), які базуються на факторах конкурентоспроможності.

Таблиця 4.14 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Контрольно вимірювальної системи для випробувань твердості компонентів медичних приладів»

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з новим продуктом | | | | | | |
|-------|------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1 | Новий метод вимірювання | 15 | | | + | | | | |
| 2 | Можливість працювати з системами CNC | 14 | | + | | | | | |
| 3 | Кріплення на верстатне обладнання | 18 | | | + | | | | |
| 4 | Широкий тип матеріалів з якими може працювати прилад | 10 | | | | | + | | |
| 5 | Діодна система оповіщення | 8 | | | | | | + | |
| 6 | Змінні індентори | 11 | | | | | + | | |
| 7 | Швидкість роботи | 12 | | | + | | | | |
| 8 | Можливість безперервно працювати декілька годин | 5 | | | | | + | | |

З даного аналізу можна зазначити позитивну тенденцію. Перевагами є робота системи з системами CNC.

4.7 SWOT-аналіз стартап-проекту

Аналіз полягає в тому, щоб розглянути різні сторони, які базуються на ринкових загрозах (таб.4.15).

Таблиця 4.15 SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сильні сторони: здатність працювати на верстатному обладнанні з системою CNC | Слабкі сторони: неможливість продукту працювати самостійно і бути окремим приладом |
| Можливості: можливість аналізувати оброблений матеріал та вносити корективи в роботу верстату | Загрози: відмова підприємств з верстатним обладнанням використовувати даний продукт на виробництві |

Описані ймовірні слабкі та сильні сторони проекту, які враховуються при входженні на ринок .

4.8. Альтернативи ринкової поведінки

Спираючись на SWOT-аналіз, потрібно оцінити і розробити поведінку ринку, яка буде відбуватись при виведенні продукту проекту на ринок, враховуючи факти конкурентоспроможності (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| № п/п | Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки | Ймовірність отримання ресурсів | Строки реалізації |
|-------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1 | Представлення нової якісної продукції | Отримання ресурсів від купівлі приладу з метою оцінити його, як новизну на ринку | 16 місяці |
| 2 | Зосередженість на системах CNC | Покупка продукту компаніями з даною системою | 17 місяців |
| 3 | Представлення додаткових функцій продукту | Продаж додаткових комплектуючих пристосувань для приладу | 3 місяці |

Таким чином можна зазначити, що впровадження проекту на ринок потрібно супроводжувати з подальшим вдосконалення системи та пропонування нових додаткових функцій даної системи на ринку, що збільшить зацікавленість на ринку збуту.

4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту

В першу чергу, при моделюванні ринкової стратегії, необхідно визначити групи споживачів даної продукції (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Компанії що розробляють та обробляють деталі до медичних систем на верстатах | Використання продукту може зменшити кількість технологічних операцій при виготовленні та обробці матеріалу, що збільшить ефективність виробництва і зацікавить споживачів | Групи компаній що використовують верстатне обладнання | Окремі установки для контролю твердості (механічні, напівавтоматизовані) | Можливість збільшити ефективність на виробництві (Просто) |
| 2 | Лабораторії для тестування та розробки проектів, що стосуються приладів які використовуються в медицині | Портативний мікротвердомір можна використовувати для тестування зразків та здійснення замірів в важкодоступних місцях | Компанії, що працюють з лабораторним обладнанням та лабораторії, як приватні так і державні | Можливість компаній створювати свій продукт, що може конкурувати з розробленим продуктом | Точне вимірювання та метод вимірювання зацікавить науковців які працюють в лабораторіях (Просто) |
| Які цільові групи обрано: обрано групу №1 | | | | | |

Основною цільовою групою обрано компанії що розробляють та обробляють деталі до медичних систем на верстатах, адже основна модель системи націлена суто на цю групу.

Таким чином потрібно формулюємо базову стратегію розвитку (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 Визначення базової стратегії розвитку

| № п/п | Обрана альтернатива розвитку проекту | Стратегія охоплення ринку | Ключові конкурентоспроможні і позиції відповідно до обраної альтернативи | Базова стратегія розвитку* |
|----------|--------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Удосконалення | Диференційовані | Технологічність, | Стратегія |

| | | | | |
|--|-------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------|
| | власних технічних рішень для задоволення потреб ринку | й маркетинг | точність вимірювань | диференціації |
|--|-------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------|

Дана стратегія є адекватним рішенням по відношенню до даного проекту, через те, що є необхідність подальшого розвитку і вдосконалення технічної складової системи.

Дальше необхідна стратегія конкурентної поведінки (табл. 4.19)

Таблиця 4.19 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| № п/п | Чи є проект «першопрохідцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які? | Стратегія конкурентної поведінки* |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Моделі мікротвердомірів даного типу з підключенням до CNC верстатів не було на ринку, тому слід вважати, що даний тип мікротвердомірів є першопрохідцем | Компанія буде зосереджуватись на клієнтах компаній конкурентів, представляючи переваги свого продукту | В даному продукті однаковими або схожими частинами з товаром конкурента, будуть змінні індентори для вимірювання мікротвердості. Інші частини продукту будуть оригінальними. | Наступальна війна, що полягатиме в нових властивостях і функціях продукту. Тип наступу- фланговий наступ, що буде включати в себе захоплення нових територій, а саме підприємства та компанії, які працюють з верстатними установками |
| 2 | Моделі мікротвердомірів для лабораторій є на ринку і відмінність даного продукту це нова система та методика вимірювання, що є значно точнішою. Але слід зауважити, що проекти типу: “вимірювачі | Компанія буде зосереджувати свій напрямок у пошуку нових наукових установ та установ з науковим напрямом, що відкриваються, тобто шукатиме новиз споживачів | В даному продукті однаковими або схожими частинами з товаром конкурента, будуть змінні індентори для вимірювання мікротвердості. Інші частини продукту будуть оригінальними. | Фланговий наступ та захоплення нових науково дослідних установ. |

| | | | | |
|--|-------------------|--|--|--|
| | твердості”, були. | | | |
|--|-------------------|--|--|--|

Обраний шлях є найбільш ефективним. Таким чином можна розраховувати на гарну позицію на ринку в порівнянні з конкурентами.

Ще одною складовою проекту є стратегія позиціонування, яка представлена в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 Визначення стратегії позиціонування

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії | Базова стратегія розвитку | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту | Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових) |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Здатність товару якісно і ефективно виконувати поставлену задачу. Можливість товару покращити технологічність на виробництві | Стратегія мінімізації витрат: - Розробка недорогого продукту, за рахунок дешевих комплектуючих - Залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій - Представлення продукту на виставках | Здатність мікротвердоміра крупитись і підключатись до верстатних установок. | 1. Розботка з верстатами CNC 2. Ефективність технологічного процесу 3. Точність |
| 2 | Здатність продукту ефективно працювати в лабораторних умовах | Стратегія мінімізації витрат: - Розробка недорогого продукту, | Швидке калібрування та налагодження приладу при проведенні замірів на досліджуваному | 1. Компактність 2. Швидке налаштування 3. Точність |

| | | | | |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--|
| | | за рахунок дешевих комплектуючих - Залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій Представлення продукту на виставках | зразку | |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--|

Дана таблиця необхідна для того, щоб показати основні позиції з якими можна асоціювати даний продукт на ринку.

Даний підрозділ показав основні аспекти формування середовища на ринку для успішного просування проекту.

4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Щоб розробити ефективну маркетингу необхідно визначити ключові переваги концепції потенційного товару (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба | Вигода, яку пропонує товар | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Ефективні вимірювальні системи для продуктів, які виготовлені на верстатах | Здатність підключатись і взаємодіяти із CNC системою верстата | Можливість кріпитись на верстаті, та проводити вимірювання зразків безпосередньо на них. |
| 2. | Ефективні та точні переносне лабораторне обладнання | Швидке калібрування та налаштування | Легкість, та переносимість установки, та її простота у використанні |

Дані переваги дають можливість формування хорошої маркетингової стратегії на ринку.

В таблиці 4.22 описано три рівні моделі товару.

В даній таблиці показано основні характеристики для того щоб оптимізувати маркетингову програму та можливість її підкріплення.

Метою даного розділу є довести можливості ефективного організаційного та ресурсного забезпечення проекту; продемонструвати, що запропоновані організаційні рішення дозволять ефективно реалізувати стартап-проект.

Визначено потребу у основних засобах (земельних ділянках, будівлях, приміщеннях, спорудах, передавальних пристроях, обладнанні), необхідних для реалізації проекту, та умови їх використання ще наведено в табл. 4.23-4.24.

Таблиця 4.22 Опис трьох рівнів моделі товару

| Рівні товару | Сутність та складові | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|
| I. Товар за задумом | Прилад контролю мікротвердості деталей та компонентів медичних приладів і систем | | |
| II. Товар у реальному виконанні | Властивості/характеристики | М/Нм | Вр/Тх /Тл/Е/Ор |
| | 1. Діапазон навантаження | 0,0019 ... 5 | Е |
| | 2.Управління навантаженнями - автоматичне. | Нм | Тх |
| | 3. Умови експлуатації: - 5°С...+40°С | | |
| | 4. Габаритні розміри, не більше 296 x 52 x 72 мм. | | |
| | 5. Маса, не більше 10 кг | | |
| | Якість: вимірювання в межах - 0,0009...1 н/мм | | |
| Пакування здійснюється в спеціально розроблений кейс, де також є основні комплектуючі, такі як: змінні індентори, запасна пружина, обладнання для ремонту | | | |
| Марка: COMPANY MEDICAL EQUIPMENT CONTROL, Прилад контролю мікротвердості деталей та компонентів медичних приладів і імплантів | | | |
| III. Товар із підкріпленням | До продажу: Система контролю мікротвердості | | |
| | Після продажу: Система контролю із змінними електромагнітними головками, та інденторами. | | |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування виробе та його складових, та закритість та закритий тип продукту, печатки на продукті, можливість | | | |

ремонту тільки в сервісному центрі компанії виробника.

Таблиця 4.23 Планова потреба у виробничих площах

| № з/п | Тип приміщення (будівлі, ділянки, споруди) | Кількість одиниць | Площа, кв. м | Вимоги до приміщення (будівлі, ділянки, споруди) | Умови надання | Вартість, тис. грн. |
|-------|--------------------------------------------|-------------------|--------------|--------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| 1. | Офісне приміщення | 1 | 36 | Відповідно до ДСТУ | Оренда | 15 тис грн/місяць |
| 2. | Лабораторне приміщення | 1 | 50 | Відповідно до ДСТУ | Оренда | 25 тис грн/місяць |
| Разом | | | 86 | — | — | 40 тис грн/місяць |

Таблиця 4.24 Планова потреба у виробничому обладнанні та устаткуванні

| № з/п | Вид обладнання (устаткування, пристрою) | Тип (модель) | Виробник обладнання (устаткування, пристрою) | Терміни постачання | Вартість, тис. грн. |
|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| 1. | Інформаційні ресурси | Десертації, наукові статті, тощо | | 3 місяці | 1000 тис. грн. |
| 2. | ПК (3 шт.) | | DELL | 10 днів | 70 тис грн. |
| 3. | Програмне забезпечення | Windows 7; пакет Office; Solidworks | Microsoft; Microsoft; Dassault Systems | 15 днів | 25 тис. грн. |
| 4. | Зразки металів | | | 15 днів | 5 тис грн |
| 5. | Функціональні частини | 3D друк | | 4 місяці | 10 тис грн |
| Разом: | | — | — | — | 111 тис грн |

Визначаємо обсяг витрат на залучення нематеріальних активів, необхідних для реалізації стартап-проекту за формою, наведеною в таблиці 4.25.

Таблиця 4.25 Планова вартість нематеріальних активів

| № з/п | Вид активів | Активи, що можуть бути віднесені до даного виду | Вартість, тис. грн. |
|-------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. | Права користування природними ресурсами | (право користування надрами, іншими ресурсами природного середовища, геологічною та іншою інформацією про природне середовище) | --- |
| 2. | Права користування майном | (право користування земельною ділянкою відповідно до земельного законодавства, право користування будівлею, право на оренду приміщень тощо) | 40 тис. грн. |
| 3. | Права на комерційні позначення | (права на торговельні марки (знаки для товарів і послуг), комерційні (фірмові) найменування тощо) | --- |
| 4. | Права на об'єкти промислової власності | (право на винаходи, корисні моделі, промислові зразки, сорти рослин, породи тварин, компонування інтегральних мікросхем, комерційні таємниці, у тому | 80 тис. грн. |

| № з/п | Вид активів | Активи, що можуть бути віднесені до даного виду | Вартість, тис. грн. |
|-------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| | | числі ноу-хау, захист від недобросовісної конкуренції) | |
| 5. | Авторське право та суміжні з ним права | (право на літературні, художні, музичні твори, комп'ютерні програми, фонограми, відеограми, передачі (програми) тощо) | 10 тис. грн |
| 6. | Інші активи | (право на провадження діяльності, використання економічних та інших привілеїв тощо) | --- |

Визначаємо плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту (в натуральних показниках) по роках за формою, наведеною в таблиці 4.26.

Таблиця 4.26 Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту

| Вид продукції | Одиниця виміру | Обсяги виробництва за період | | |
|---------------|----------------|------------------------------|---------|---------|
| | | 1-й рік | 2-й рік | 3-й рік |
| Прилад | шт | 100 | 1000 | 2000 |

Визначаємо обсяг витрат на забезпечення стартап-проекту матеріальними ресурсами та комплектуючими по роках (виходячи з планового обсягу виробництва продукції, визначеного в табл. 4.26) за формою, наведеною в табл. 4.23. Якщо проектом передбачено виробництва декількох видів продукції, таблиця складається по кожному виду продукції окремо.

Таблиця 4.27 Планова потреба у матеріальних ресурсах та комплектуючих

| № з/п | Вид ресурсу | Одиниця виміру | Витрати на одиницю продукції в натуральних показниках | Вартість на одиницю продукції, тис. грн. | Вартість за плановим обсягом виробництва за період, тис. грн. | | |
|----------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------|---------|
| | | | | | 1-й рік | 2-й рік | 3-й рік |
| 1. | Комплектуючі | | | | | | |
| 1.1. | Корпус | шт | | 0,3 | 0,6 | - | - |
| 1.2 | Редуктор | шт | | 0,2 | 0,4 | - | - |
| 1.3 | Двигун | шт | | 0,2 | 1 | - | - |
| 1.4 | USB дрiт | шт | | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,4 |
| 1.5 | Друкована плата | шт | | 1 | 3 | 4 | 4 |
| 1.6 | Електромеханічна головка | шт | | 1,5 | 3 | 4 | 4 |
| 1.7 | Хвостовик | шт | | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 1,6 |
| Всього комплектуючих | | — | — | 3,7 | 9 | 9,64 | 9,64 |
| 2. | Сировина | | | | | | |
| 2.1. | Біологічні зразки | | | 5 | 10 | 10 | 10 |
| Всього сировини | | | | 5 | 10 | 10 | 10 |
| Разом: | | — | — | 8,7 | 19 | 19,64 | 19,64 |

Визначаємо потребу та обсяг витрат на залучення адміністративного та промислово-виробничого персоналу, необхідного для реалізації проекту за формою, наведеною в табл. 4.28.

Таблиця 4.28 Планова потреба та витрати на персонал

| № з/п | Категорія персоналу | Чисельність | Заробітна плата, тис грн. на місяць | Відрахування на соціальні заходи, тис грн. на місяць | Витрати на оплату праці за період, тис. грн. | | |
|--------|---------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|---------|
| | | | | | 1-й рік | 2-й рік | 3-й рік |
| 1. | Інженер-електрик | 1 | 14 | 2,66 | 168 | 192 | 216 |
| 2. | Інженер конструктор | 1 | 14 | 2,09 | 168 | 192 | 180 |
| 3. | ІТ- спеціаліст | 1 | 12 | 2,28 | 144 | 168 | 192 |
| 4. | Менеджер-маркетолог | 1 | 13 | 2,47 | 156 | 180 | 204 |
| Разом: | | | 53 | 9,5 | 636 | 732 | 792 |

З урахуванням даних табл. 4.23-4.28 визначаємо обсяг загальних початкових витрат, необхідних для реалізації проекту (витрат, що мають бути понесені до початку основної діяльності в 0-й рік реалізації проекту) за формою, наведеною в таблиці 4.29.

Таблиця 4.29 Загальні початкові витрати проекту

| № з/п | Стаття витрат | Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн. |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1. | Проведення НДДКР | 8 |
| 2. | Розробка проектних матеріалів і ТЕО | 10 |
| 5. | Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв | 1500 |
| 6. | Витрати на приймально-здавальні випробування | 10 |
| 7. | Витрати на пусконаладжувальні роботи | 11 |
| 8. | Комплексне освоєння проектних потужностей | 6 |
| 9. | Витрати на придбання нематеріальних активів | 145 |
| 13. | Оплата юридичних послуг | 35 |
| 14. | Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі | 15 |
| 15. | Витрати, пов'язані з діяльністю персоналу | 800 |
| Разом | | 3192 |

Дальше необхідно визначити межі встановлення ціни на продукти-аналоги та оцінити їх, що показано в таблиці 4.30.

Таблиця 4.30 Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на товари-замінники | Рівень цін на товари-аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1. | 4000-10000 грн | 5000-15000 грн | 150000 грн/міс. – 10000000 грн/міс. | 4500 грн – 8000 грн |
| 2. | 10000-25000 грн | 10000-15000 грн | 10000 грн/міс. – 500000 грн/міс. | 5000 грн – 10000 грн |

Ціну на товар було встановлено в певних межах, опираючись на цінову політику на ринку, та на конкурентів.

Сформуємо систему збуту (таб.4.30).

Таблиця 4.30 Формування системи збуту

| № | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Необхідність в приладах для контролю зразків на виробництві | Якісне обладнання доставлене в потрібне місце в заданий час | Продаж компаніям та підприємствам з верстатним устаткуванням | Тендери, виставки, магазини з контрольно-вимірювальним обладнанням, інтернет магазини |
| 2 | Необхідність лабораторних установ у приладах для контролю мікротвердості досліджуваних матеріалів | Якісне обладнання доставлене в потрібне місце в заданий час | Продаж науково-дослідним установам які потребують такі продукти | Тендери, виставки, магазини з контрольно-вимірювальним обладнанням, інтернет магазини |

Ефективним рішенням збуту продукції, буде продаж товару напряму без посередників. Таки рішення буде використовуватис на початку маркетингової програми. В подальшому планується пошук посередників та інших представників, для офіційного збуту продукції.

Останньою складовою, яка відіграє важливу роль в маркенговій програмі є концепція маркетингових комунікацій (таб.4.31).

Таблиця 4.31 Концепція маркетингових комунікацій

| № п/п | Специфіка поведінки цільових | Канали комунікацій, якими | Ключові позиції, обрані для | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|-------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|-------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|

| | клієнтів | користуються цільові клієнти | позиціонування | | |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах | Тендери, виставки, інтернет ресурси, магазини спеціального обладнання | Робота з верстатами, ефективність при різних технологічних процесах | Показати клієнтам яким чином можна збільшити ефективність виробництва за допомогою даного продукту | Продукт може використовуватись на верстатах з системою CNC |
| 2 | Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах, переносимість, простота, надійність | Тендери, виставки, інтернет ресурси, магазини спеціального обладнання | Переносне, контрольне обладнання для науково-дослідних установ | Показати клієнту основні позитивні аспекти і переваги при використанні даного продукту | Робота продукту з різноманітним типом матеріалів, велика точність, простота у використанні |

Дана концепція повинна забезпечити оптимальний результат від маркетингової програми.

Висновок до розділу IV

Було проведено аналіз стартап-проекту “Контрольно вимірювальна система для випробувань твердості компонентів медичних приладів” та визначено основні факторий його розвитку. Даний тип роекту і концепція приладу має цілком новий вигляд і будову. Встановлено, що тенденції виходу даного продукту на ринок збуту будуть позитивним. Цьому сприяє стрімке зростання попиту на контроль якості медичної апаратури, а саме окремих їх вузлів і деталей.

Також слід зазначити, що існують ризики виведення даного проекту на ринок збуту, це насамперед невідомість даної концепції приладу. Але хороший маркетинг і залучення інвестицій, дадуть змогу знизити рівень недовіри до нової продукції. Важливим фактором стабільного зростання та розвитку на ринку, є

залучення міжнародних інвестицій та впровадження продукції за кордоном. Це дасть можливість більш детально дослідити потреби споживачів і довести дану продукцію до міжнародних стандартів. А подальший розвиток та вдосконалення продукту, сприятимуть до того, що дана система зможе зайняти конкурентоспроможні позиції на ринку. Слід врахувати можливість розширених функцій, це оснащення системи додатковими насадками, які можуть здійснювати інші функції контролю. Таким чином можна розширити попит даної продукції.

Враховуючи всі проведені аналізи, можна сказати, що контрольно-вимірjuвальна системи М-20, як новий тип приладів на ринку, зарекомендує себе своєю високою точністю та надійністю.

Висновки

В даній роботі було створено принципи та методи контролю мікротвердості, що є засадними для створення приладів вимірювання і контролю диференційної мікротвердості.

Створено макет приладу “Мікротвердомір М20”, що може застосовуватись на верстатах для обробки металів, які є основою деталей для сучасних медичних систем та приладів, окремих їх вузлів. Здатність приладу проводити вимірювання і контроль оброблювального матеріалу на самих верстатах, дасть можливість

швидко та якісно здійснити контроль на виробництві. Це покращить технологічний процес на виробництві.

Дана модель приладу може здійснювати вимірювання при різних кутах та в малодоступних точках. Дві позиції вимірювання дадуть змогу збільшити площу контролю мікротвердості об'єктів із складним профілем.

Розробляючи даний прилад, було враховано технічні вимоги, від яких буде залежати робочий стан системи в реальних умовах автоматизованого виробництва.

Основними особливостями приладу “Мікротвердомір М20”, це його компактність, простота у використанні і висока точність, які роблять його ефективним і надійним під час експлуатації. Розроблено низку алгоритмів та операцій по налаштуванню і калібруванню, що здійснюється на початку роботи даної системи.

Слід зазначити актуальність даного мікротвердоміра. За допомогою таких моделей, є можливість виготовлення якісних медичних приладів і систем та контролю їхньої якості.

Розвиток медичних технологій та цілої приладобудівної галузі для контролю їхньої якості є актуальним та перспективним питанням в сучасному світі.

Список використаної літератури

1. Режим доступу:

http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/pharma_3/classes_stud/%D1%84.htm

2. Режим доступу: <http://www.shimadzu.com.sg/sap/products/hard-visco/hmv-g21.html>

3. Режим доступа: Brandon Kerins Joseph Kirby Divyarajsinh Raol Matthew Valvano. Skin Hardness and Elasticity Measurement Device ME 450 Fall 2010 Professor Grant Kruger Team Derma -17. December 15, 2010. Режим доступа: <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/86244/ME450%20Fall2010%20Final%20Report%20%20Project%2017%20%20Skin%20Hardness%20and%20Elasticity%20Measurement.pdf>
- 4 . Рожим доступа: <http://journals.uran.ua/index.php/2311-441X/article/view/90605/86512>
5. <http://uapatents.com/8-87907-sposib-ocinki-mikrotverdosti.html>
- 6 . Режим доступа: <http://uapatents.com/2-66278-pristrijj-dlya-kontrolyu-mikrotverdosti-ta-tovshhini-vibrozmichenogo-sharu-metalu.html>
- 7 . Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3741368/>
8. Гаврилов А.Н. Точность производства в машиностроении и приборостроении. – М.: Машиностроение, 1973. -567с.
9. DAISHOWA SEIKI CO., LTD. FA Dept. CATALOG №52, 53, 51, 63, 68. 1998
10. Скицюк В.І., Махмудов К.Г., Ключко Т.Р. Технологія ТОНТОР. – К.:Техніка, 1993. – 80с.
11. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука 1967. – 608с.
12. Дергачев И.А. Строение , свойства и методы исследования металлов и сплавов. / И.А. Дергачев. – М., Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1952. – 148 с.
13. Вульф А.М. Резание металлов / А.М. Вульф Изд. 2-е. - Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1973. - 496 с.
14. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании металлов / Г.С. Андреев //Вестник машиностроения, 1971. - №3. - С.65-68.
15. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. / В.Ф. Бобров. – М., «Машиностроение», 1975. – 344 с.

16. Армарего И. Дж. А. Обработка металлов резанием / И. Дж. А. Армарего, Р.Х. Браун. – М., «Машиностроение», 1977. – 325 с
17. Физика технологии ТОНТОР: монография / В.І. Скицюк, Т.Р. Клочко. - Сарбрюкен (Германия): ИД LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 332 с.
18. Основы теории резания материалов: учебник [для высш. учебн. заведений] / Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. [и др.] ; под общ. ред. Н.П. Мазира и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
19. Збірник статей XI науково-практичної конференції студентів та аспірантів “Погляд у майбутнє приладобудування”, 15-16 травня 2018 р., м. Київ, ПФФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво “Центр учбової літератури”. – 2018. – 562с.
20. Абрамзон Г.В. Индукционные измерительные преобразователи переменных магнитных полей / Г.В. Абрамзон, Ю.П. Обоишев. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 120 с
21. Алешин Н.П. Методы акустического контроля металлов / Н.П. Алешин, В.Е. Белый, А.Х. Вовилкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
22. Белокур И.П. Дефектоскопия материалов и изделий / И.П. Белокур, В.А. Коваленко – К.: Техника, 1989. – 192 с.
23. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. / И.В. Крагельский, В.В. Алисина – В 2-х кн. Кн. 1. М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
24. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. / И.В.
25. Крагельский, В.В. Алисина – В 2-х кн. Кн. 2. М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.
26. Польцер Г. Основы трения и изнашивания / Г. Польцер, Ф. Майсснер – М.: Машиностроение, 1984. – 264с.
27. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов: Учеб. пособие для профессионально-технических училищ./ П.П. Костин – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.

28. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. / Ч. Киттель – М., Физматгиз, 1963. – 696 с.
29. M.Bondarenko, I.Bondarenko, V.Antoniuk, “Peculiarities of metalized surfaces modification of silicon elements of microelectromechanical systems with low-power electronic flow”, *Materials science. Non-equilibrium phase transformations*. III (2). 2017, 53-55 (2017).
30. Скицюк В.І., Ключко Т.Р. Физика технологии ТОНТОР. Саарбрюкен: ИД LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 332 с.
31. Volodymyr Skytsiouk, Tatiana Klotchko, Myhailo Bulyk, Specifics of influence of the chemical composition of abstract object’s presence zone on accuracy of determination of surface’s coordinates, *BULLETIN of Kyiv Polytechnic Institute. Series INSTRUMENT MAKING*, Is.57(1), pp. 62-71, 2019.
32. Farbod Akhavan, Niaki Laine Mears, “A comprehensive study on the effects of tool wear on surface roughness, dimensional integrity and residual stress in turning IN718 hard-to-machine alloy”, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 30, pp. 268-280, December 2017. DOI: 10.1016/j.jmapro.2017.09.016
33. Патент № 128709 України на корисну модель. Спосіб вимірювання мікротвердості деталі. В.І. Скицюк, Т.Р. Ключко, Булик М.О., Печонка М.М. Заявка № U201801193. Опубл. 10.10.2018. Бюл. № 19.
34. B. L. Frankamp, A. K. Boal, M. T. Tuominen, V. M. Rotello, “Direct control of the magnetic interaction between iron oxide nanoparticles through dendrimer-mediated self-assembly”, *Journal of the American Chemical Society*. 127:9731–9735, 2005.
35. Режим доступу:
http://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/3722/1/Olefir_189.pdf
36. Режим доступу: <http://refdo.info/314232.html>
37. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6765957/>
38. Методологія наукових досліджень: навч.посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г.Полонський, В.І.Аверченко, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015.-276 с.- Бібліограф. С.254-262.-300 пр. ISBN 978-966-622-684-9

39. >Volodymyr Skytsiouk<, >Tatiana Klotchko<, >Myhailo Bulyk<, Specifics of influence of the chemical composition of abstract object's presence zone on accuracy of determination of surface's coordinates, Вісник КПІ. Серія Приладобудування, Вип. 57(1), С. 62-71, 2019
40. >В.І. Скицюк<, >Булик М.О.<, Печонка М.М., >Т.Р. Клочко<, >Тимчик Г.С.< , Моделювання керованого руху індентора при вимірюванні твердості матеріалу деталі, Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. 2018.-Вип.55(1), С. 81- 88.
41. В.І. Скицюк, Булик М.О., Печонка М.М., Т.Р. Клочко, Автоматизований модуль контролю твердості матеріалу штучних імплантів, Збірн. статей. XI науково-практ. конфер. студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, С. 329-332.
42. Volodymyr Skytsiouk, Tatiana Klotchko, Myhailo Bulyk, Determination of the microhardness parameter of metal parts of medical products, Proc. of XVIII Intern. scientific and technical conference INSTRUMENT MAKING: state and prospect, 15-16 May 2019, Kyiv, IMF of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, pp. 139-140, 2019
43. Булик М. (студент), Скицюк В., Клочко Т. Методика вимірювання мікротвердості матеріалу деталі за допомогою мікротвердоміра М-20, XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні, 10-11 грудня 2019 р. м. Київ
44. Скицюк В.И., Клочко Т.Р., Булык М.А., Устройство измерения микротвердости материалов деталей медицинского прибора, Приборостроение - 2019: Материалы 12 - й Международной научно-технической конференции, 13–15 ноября 2019 г., Минск, Республика Беларусь